Environnement Canada
Service de la protection de l'environnement

Environment Canada
Environmental Protection Service

collection
ENVIROGUIDE

L'ACIDE NITRIQUE

Canada

avril 1985

86-05881/

COLLECTION "ENVIROGUIDE"

La collection "Enviroguide" est constituée de guides d'information technique à utiliser en cas de déversements de matières dangereuses. Chaque guide fournit une masse considérable d'information relative au produit chimique dont il traite. L'information ainsi présentée a pour but d'aider l'utilisateur à mettre sur pied un plan d'intervention en cas d'accident et à évaluer les incidences sur l'environnement que peut avoir tel ou tel polluant. Le contenu de chacun des guides a été vérifié par la Direction des services techniques du Service de la protection de l'environnement avant que ne soit autorisée sa publication. Il est à noter qu'une telle autorisation n'implique pas que le contenu des guides reflète les points de vue ou la politique du Service de la protection de l'environnement. De même, le fait de mentionner des marques déposées ou des noms de produits commerciaux ne doit pas être interprété comme une forme de recommandation.

collection
ENVIROGUIDE

L'ACIDE NITRIQUE

SERVICE DE LA PROTECTION
DE L'ENVIRONNEMENT

DIRECTION GÉNÉRALE DES PROGRAMMES
DE PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

DIRECTION DES SERVICES TECHNIQUES

OTTAWA
AVRIL 1985
ENVIRONNEMENT CANADA

Publication
distribuée par le Service des publications
Service de la protection de l'environnement
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 1C8

Édition française de
Nitric Acid
préparée par le Module d'édition française

English copy available at the above mentioned address

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1985F
N° de cat. En 48-10/50-1985F
ISBN 0-662-93755-4
IMPRIMERIE BEAUREGARD LIMITÉE

AVANT-PROPOS

La collection "Enviroguide" a été lancée officiellement en 1983. Elle est constituée de guides d'information technique sur les produits chimiques qui sont les plus souvent en cause dans les cas de déversements accidentels. Les guides, qui s'adressent à des spécialistes dans le domaine des déversements, sont conçus pour aider à planifier les interventions d'urgence et évaluer les incidences sur l'environnement.

Vu la grande quantité d'information présentée et le caractère très technique des guides, ces derniers ne s'adressent pas au personnel de première intervention, pour qui existent déjà des manuels plus appropriés.

L'information offerte a été glanée en majeure partie dans des publications déjà existantes. Les auteurs ont pris grand soin, aussi bien au stade de la compilation qu'à celui de la révision, de vérifier la justesse des éléments retenus. Néanmoins, il ne faut pas voir dans la publication de ces éléments d'information une forme de recommandation de la part du gouvernement du Canada ni de quelque autre groupe.

REMERCIEMENTS

La version définitive du présent guide est l'oeuvre du personnel du Service de la protection de l'environnement, qui a procédé à la refonte de nombreux passages du texte initial, ajouté maints renseignements et commentaires et préparé les schémas et les figures.

Le travail préliminaire avait été donné à contrat par Environnement Canada aux firmes M.M. Dillon Consulting Engineers and Planners, Concord Scientific Corporation et Waterloo Engineering Limited.

L'abondance de détails qu'on trouve dans le guide est le fruit de la collaboration de plusieurs personnes, organismes et institutions qui ont fourni des données et des conseils précieux, au stade de la compilation comme au stade de la rédaction. Sous ce rapport, l'Association canadienne des fabricants de produits chimiques mérite des remerciements particuliers.

TABLE DES MATIÈRES

	Avant-propos	III
	Remerciements	III
	Liste des figures	VII
	Liste des tableaux	VIII
	Abréviations et symboles	IX
	Définitions	XI
	Sigles	XIII
1	**Résumé**	1
2	**Propriétés physiques et chimiques**	4
3	**Production, transport et commerce**	19
3.1	Qualité et titres du produit	19
3.2	Centres de production et transport	19
3.3	Fabricants situés au Canada	20
3.4	Autre fournisseur	20
3.5	Volumes de production	20
3.6	Fabrication industrielle	21
3.6.1	Information générale	21
3.6.2	Matières premières	21
3.6.3	Procédé de fabrication	21
3.7	Principales utilisations au Canada	23
3.8	Principaux acheteurs au Canada	24
4	**Manutention du produit et compatibilité avec certains matériaux**	25
4.1	Citernes et autres récipients d'expédition	25
4.1.1	Transport en vrac	25
4.1.1.1	Wagons-citernes	25
4.1.1.2	Véhicules-citernes routiers	27
4.1.2	Transport sous emballage	28
4.2	Déchargement	28
4.2.1	Équipement et opérations de déchargement des wagons-citernes	30
4.2.2	Équipement et opérations de déchargement des véhicules-citernes routiers	30
4.2.3	Spécifications et matériaux de fabrication de l'équipement de déchargement	30
4.3	Compatibilité entre le produit et certains matériaux	32
5	**Fuite et migration du produit**	44
5.1	Aperçu général	44
5.2	Fuite du produit	44
5.2.1	Introduction	44
5.2.2	Nomogrammes de la fuite	45
5.2.2.1	Pourcentage de liquide restant en fonction du temps écoulé	45
5.2.2.2	Débit de fuite en fonction du temps écoulé	45
5.2.3	Exemples de calcul	45
5.3	Diffusion dans l'atmosphère	47
5.3.1	Introduction	47
5.3.2	Nomogrammes de la diffusion du panache de vapeurs	47
5.3.2.1	Débit d'émission des vapeurs en fonction du rayon de la nappe et de la température	49
5.3.2.2	Teneur en vapeurs en fonction de la distance sous le vent	52

5.3.2.3	Demi-largeur maximale du panache dangereux	55
5.3.2.4	Distance parcourue par le panache en fonction du temps écoulé	55
5.3.3	Étapes du calcul	58
5.4	Comportement dans l'eau	59
5.4.1	Introduction	59
5.4.2	Nomogrammes de la diffusion du polluant dans l'eau	61
5.4.2.1	Diffusion dans les cours d'eau non soumis aux marées	62
5.4.2.2	Diffusion dans les lacs au repos et autres plans d'eau	70
5.4.3	Exemples de calcul	70
5.4.3.1	Teneur en polluant d'un cours d'eau non soumis aux marées	70
5.4.3.2	Teneur moyenne en polluant dans les lacs au repos et autres plans d'eau	73
5.5	Comportement dans le sol de surface et dans le sous-sol	73
5.5.1	Introduction	73
5.5.2	Migration du polluant dans un sol à capacité au champ	74
5.5.3	Coefficient de perméabilité d'un sol saturé vis-à-vis du polluant	74
5.5.4	Types de sol	76
5.5.5	Nomogrammes de la migration	76
5.5.6	Exemple de calcul	76
6	**Protection de l'environnement**	81
6.1	Limites maximales admissibles	81
6.1.1	Qualités de l'eau	81
6.1.2	Qualités de l'air	81
6.2	Toxicité pour les espèces aquatiques	81
6.2.1	Évaluation de la toxicité aux États-Unis	81
6.2.2	Mesure de la toxicité	81
6.3	Toxicité pour les espèces terrestres et aériennes	82
6.4	Études sur les effets toxiques	82
6.4.1	Effets liés au pH	82
6.4.2	Effets des nitrates (NO_3)	84
6.5	Dégradation du polluant	85
6.6	Devenir et effets à long terme	85
7	**Protection de la santé**	86
7.1	Normes de qualité d'air ambiant	86
7.2	Données sur l'action irritante	87
7.2.1	Contact avec la peau	87
7.2.2	Contact avec les yeux	88
7.3	Données sur les propriétés organoleptiques	88
7.3.1	Odeur	88
7.3.2	Saveur	88
7.4	Études sur les effets toxiques	88
7.4.1	Inhalation	88
7.4.2	Ingestion	90
7.4.3	Érosion de l'émail et de la dentine	92
7.4.4	Mutagénicité, tératogénicité et cancérogénicité	92
7.5	Symptômes et conséquences de l'intoxication	93
7.5.1	Inhalation	93
7.5.2	Ingestion	93
7.5.3	Contact avec la peau	93
7.5.4	Contact avec les yeux	94
7.6	Toxicité des produits de décomposition ou de combustion, pour l'homme	94
7.6.1	Oxyde nitrique, peroxyde d'azote et tétroxyde d'azote	94

8	**Compatibilité chimique**	96
8.1	Compatibilité entre la morpholine et divers agents	96
9	**Mesures d'intervention et de sécurité**	119
9.1	Mesures recommandées	119
9.1.1	Danger d'incendie	119
9.1.2	Moyens d'extinction	119
9.1.3	Évacuation	119
9.1.4	Mesures d'intervention en cas de déversement	120
9.1.4.1	Information générale	120
9.1.4.2	Déversement sur le sol	120
9.1.4.3	Déversement dans l'eau	121
9.1.5	Nettoyage et traitement	121
9.1.5.1	Information générale	121
9.1.6	Élimination du polluant	121
9.1.7	Appareils et vêtements de protection	121
9.1.8	Entreposage	124
9.2	Équipements techniques et produits spécialisés d'intervention	124
10	**Cas de déversement accidentel**	
11	**Identification et dosage du polluant**	126
11.1	Dosage de l'acide nitrique dans l'air	126
11.1.1	Électrode ionique spécifique	126
11.2	Identification de l'acide nitrique dans l'air	127
11.3	Dosage de l'acide nitrique dans l'eau	127
11.3.1	Colorimétrie	127
11.4	Identification de l'acide nitrique dans l'eau	129
11.5	Dosage de l'acide nitrique dans le sol	129
11.5.1	Titrimétrie	129
11.6	Identification de l'acide nitrique dans le sol	130
12	**Références et bibliographie**	131
12.1	Références	131
12.2	Bibliographie	139

LISTE DES FIGURES

1	Diagramme de phases du système $NHO_3 \cdot H_2O$	15
2	Tension de vapeur en fonction de la température	16
3	Masse volumique du liquide en fonction de la température	16
4	Masse volumique des solutions	17
5	Viscosité des solutions	17
6	Diagramme de phases	18
7	Centres de production au Canada	19
8	Wagon-citerne de spécification 103CW	26
9	Résistance du Duriron à l'acide nitrique	31
10	Wagon-citerne perforé au-dessous du niveau du liquide	45
11	Pourcentage de liquide restant en fonction du temps écoulé	46
12	Débit de fuite volumique en fonction du temps écoulé	46
13	Formation d'un panache de vapeurs	48
14	Étapes à suivre pour déterminer la zone dangereuse	50
15	Débit d'émission de vapeurs à différentes températures en fonction du rayon de la nappe	51
16	Teneur uniformisée en vapeurs en fonction de la distance sous le vent	53
17	Conversion des unités de la TLV® (ppm en g/m^3)	54
18	Distance parcourue par le panache en fonction du temps écoulé	57
19	Zone dangereuse maximale sous un vent invariable	60
20	Zone dangereuse maximale sous un vent variable	60
21	Étapes à suivre pour calculer la teneur en polluant d'un cours d'eau non soumis aux marées	63
22	Distance en fonction du temps	64
23	Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal	65
24	Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique	66
25	Alpha en fonction du coefficient de diffusion turbulente	67
26	Delta en fonction de alpha	68
27	Teneur maximale en fonction de delta	69
28	Volume d'eau en fonction du rayon hydraulique	71
29	Teneur moyenne en fonction du volume d'eau	72
30	Migration dans le sous-sol	75
31	Plan d'utilisation des nomogrammes	77
32	Migration dans un sable grossier	78
33	Migration dans un sable limoneux	79
34	Migration dans un till argileux	80

LISTE DES TABLEAUX

1	Nomogrammes de la conversion	14
2	Spécifications CCT/DOT s'appliquant aux wagons-citernes utilisés pour le transport d'acide nitrique	25
3	Caractéristiques du wagon-citerne de spécification 103CW	27
4	Spécification TC s'appliquant aux véhicules-citernes routiers utilisés pour l'acide nitrique	28
5	Spécifications s'appliquant aux emballages utilisés pour l'acide nitrique	29
6	Compatibilité entre l'acide nitrique et certains matériaux de fabrication	33
7	Abréviations normalisées des noms de matériaux de fabrication et composition des alliages	43
8	Catégories météorologiques (de stabilité)	52
9	Demi-largeur maximale du panache de vapeurs d'acide nitrique titrant 42° Bé (à 20 °C)	56

ABRÉVIATIONS ET SYMBOLES

adf	Antidéflagrant
atm	Atmosphère
B	Périmètre mouillé
c.f.	Coupelle fermée
c.o.	Coupelle ouverte
CPG	Chromatographie en phase gazeuse
d	Densité
d vap	Densité de vapeur
d.-v.	Demi-vie
D ext.	Diamètre extérieur
D int.	Diamètre intérieur
DAMM	Diamètre aérodynamique moyen en masse
DBO	Demande biochimique en oxygène
DCO	Demande chimique en oxygène
D_e	Diamètre d'entrée
DIF	Détecteur d'ionisation à flamme
DMM	Diamètre moyen en masse
DMN	Diamètre moyen en nombre
DMV	Diamètre moyen en volume
DPI	Détecteur à photo-ionisation
D_s	Diamètre de sortie
DL min.*	Dose létale minimale
DL 50*	Dose létale moyenne
DT min.	Dose toxique minimale
et coll.	Et collaborateurs
eV	Électronvolt
f. n. éq.	Fumée normalisée équivalente
gal imp.	Gallon impérial
h	Hauteur
IDLH*	*Immediately Dangerous to Life or Health*
IR	Infrarouge
j	Jour
J	Joule
K	Coefficient de perméabilité
K_0	Coefficient de perméabilité d'un sol saturé
k	Coefficient de perméabilité intrinsèque
l	Litre
L.I.E.	Limite inférieure d'explosibilité
L.I.I.	Limite inférieure d'inflammabilité
L.S.E.	Limite supérieure d'explosibilité
L.S.I.	Limite supérieure d'inflammabilité
m	Masse
M	Molaire
MAK*	Teneur maximale admissible
MAK-D*	Teneur maximale admissible
MAK-K*	Teneur maximale admissible - courte durée
max.	Maximum
mé/l	Milliéquivalent par litre
MIK*	Teneur maximale d'immission
min.	Minimum
mn	Minute
M mol.	Masse moléculaire
M vol.	Masse volumique
mol	Mole
MPT	Moyenne pondérée en fonction du temps
N	Newton
N	Normal
Pa . s	Pascal seconde
pds éq.	Poids équivalent
ppb	Parties par milliard (10^{-9})
ppm	Parties par million (10^{-6})
ppt	Parties par mille (10^{-3})
psi	*Pounds per square inch*
P	Pression
P_c	Pression critique
PEL*	*Permissible Exposure Limit*
Po	Poise
Pt cong.	Point de congélation
Pt déf.	Point de déflagration
Pt dét.	Point de détonation
Pt ébul.	Point d'ébullition
Pt écl.	Point d'éclair
Pt écoul.	Point d'écoulement
Pt fus.	Point de fusion
Pt liq.	Point de liquéfaction
PVC	Chlorure de polyvinyle
q	Débit
q_e	Débit d'entrée
q_f	Débit de fuite
q_m	Débit-masse
q_s	Débit de sortie
q_v	Débit-volume
std	Standard
SM	Spectroscopie de masse
St	Stokes
STEL*	*Short Term Exposure Limit*
t	Tonne
t	Temps
temp.	Température
$temp._a$	Température ambiante
$temp._c$	Température critique
TE 50*	Teneur efficace moyenne
tf	Tonne forte
TI 50*	Teneur inhibitrice moyenne
TLm*	Tolérance moyenne
TL min.*	Teneur létale minimale

TL 50*	Teneur létale moyenne
TLV®*	*Threshold Limit Value*
TLV® -C*	*Threshold Limit Value-Ceiling*
TPN	Température et pression normales
TT min.*	Teneur toxique minimale
u	Vitesse du vent
μ	Viscosité
vap	Vapeur
V	Vitesse d'écoulement
V biod.	Vitesse de biodégradation
V évap.	Vitesse d'évaporation
vol.	Volume
°Bé	Degré Baumé
°C	Degré Celsius
ϕ	Diamètre
x	Distance sous le vent
⚒	Ne pas utiliser d'eau comme moyen d'extinction

* Les abréviations suivies d'un astérique sont expliquées dans la section Définitions.

DÉFINITIONS

Les définitions figurant ci-dessous valent pour la collection "Enviroguide". Le lecteur notera qu'elles n'ont pas toujours une portée générale. Pour plus de détails, ou pour d'autres définitions, se reporter au manuel d'introduction de la collection.

Bio-accumulation. - Rétention sans cesse croissante d'une substance dans les tissus d'un organisme tout au long de son existence (le facteur de bioconcentration augmentant sans cesse).

Bio-amplification. - Rétention d'une substance dans les tissus à des teneurs de plus en plus élevées au fur et à mesure que l'on s'élève dans la hiérarchie des organismes de la chaîne alimentaire.

Bioconcentration. - Rétention d'une substance dans les tissus d'un organisme au point que la teneur des tissus en cette substance surpasse la teneur du milieu ambiant en cette substance, à un moment donné de la vie de cet organisme.

Concentration. - Comme ce mot a des sens multiples et parfois mal définis selon qu'il s'agit de chimie, de biologie ou d'écologie, on lui a préféré des termes jugés plus précis, tels titre, teneur et bioconcentration.

Contaminant. - Polluant qui figure sur une liste de produits dangereux, établie en vertu de la Loi sur les contaminants de l'environnement.

Dose létale minimale. - Dans le cas de la toxicité pour l'homme (la dose définie ici peut être extrapolée à l'homme), il s'agit de la plus faible dose (autre que la DL 50) d'une substance dont l'absorption, excluant l'inhalation, en une ou plusieurs prises, au bout d'un temps donné, a été signalée comme cause de la mort d'un animal ou d'une personne. Abrév. DL min.

Dose létale moyenne (1). - Dans le cas de la toxicité pour l'animal, il s'agit de la dose qui tue, au bout d'un temps donné, 50 p. 100 des animaux auxquels on a fait absorber une certaine quantité de substance. Abrév. DL 50.

Dose létale moyenne (2). - À des fins de comparaison ou d'extrapolation dans l'étude de la toxicité pour l'homme, il s'agit de la dose (calculée) d'une substance censée entraîner, au bout d'un temps donné, la mort de 50 p. 100 d'une population homogène d'animaux. Elle est déterminée par suite de l'absorption, excluant l'inhalation, d'une quantité de cette substance par un lot statistiquement significatif d'animaux provenant de cette population. Abrév. DL 50.

Dose toxique minimale. - La plus faible dose d'une substance, introduite par toute autre voie que l'inhalation, pendant quelque période de temps que ce soit, dont l'absorption a été signalée comme cause d'effet toxique chez des personnes ou d'effets carcinogènes, néoplastogènes ou tératogènes chez les animaux ou les personnes. Abrév. DT min.

Facteur de bioconcentration. - Rapport de la teneur en une substance des tissus d'un organisme exposé (moins la teneur d'un organisme témoin) à la teneur en cette substance du milieu ambiant.

IDLH *(Immediately Dangerous to Life or Health).* - Teneur plafond à laquelle, dans un délai maximal d'exposition de 30 minutes, il est possible à une personne de fuir les lieux exposés sans qu'il n'y ait manifestation de signes fonctionnels d'intoxication, perturbation irréversible de la santé ou décès. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par le NIOSH.

Immission. - Transfert d'un polluant de l'atmosphère vers un "récepteur" qui peut être une personne, un animal, une plante. La teneur maximale d'immission, mentionnée au chapitre 7, se rapporte au polluant retenu dans les poumons. Il s'agit d'un concept d'origine allemande, adopté par l'ISO.

Létal. - En toxicologie, synonyme de mortel.

MAK *(Maximale Arbeidsplatz Konzentration).* - Teneur limite moyenne admissible en milieu de travail, compte tenu de semaines de 45 heures et de journées de 8 heures. Il s'agit d'une norme établie par la RFA.

MAK-D. - Teneur limite moyenne admissible en milieu de travail, compte tenu de semaines de 45 heures et de journées de 8 heures. Il s'agit d'une norme établie par la RDA.

MAK-K. - Teneur limite admissible en milieu de travail pour une période très courte ne dépassant pas 30 minutes. Il s'agit d'une norme établie par la RDA.

PEL *(Permissible Exposure Limit).* - Teneur limite moyenne (pondérée en fonction du temps) à laquelle peuvent être exposés des travailleurs pendant une période de relève. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par le NIOSH.

Polluant. - Agent physique, chimique ou biologique qui provoque une dégradation dans un milieu donné.

STEL (TLV - *Short Term Exposure Limit).* - Teneur limite à laquelle les travailleurs peuvent être exposés de façon continue pour une courte période sans souffrir d'irritation, de dommage irréversible aux tissus ou d'une narcose suffisamment grave pour accroître la probabilité de blessure par accident, diminuer la capacité de fuir ou réduire physiquement l'efficacité au travail, en prenant pour acquis que la TLV quotidienne n'a pas été dépassée. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par l'ACGIH.

Teneur. - Quantité de matière solide, liquide ou gazeuse, rapportée à une masse ou à un volume d'autres matières dans lesquelles elle est en mélange, suspension ou dissolution.

Teneur efficace moyenne. - Dans le cas de la toxicité pour la micro-faune, il s'agit de la teneur à laquelle se produit, chez 50 p. 100 de la population, pour une durée d'exposition donnée, un effet tel que l'immobilisation, la perte de l'équilibre, une déficience de croissance ou même la mort. Abrév. TE 50.

Teneur inhibitrice moyenne. - Dans le cas de la toxicité pour la micro-flore ou la micro-faune, il s'agit de la toxicité qui inhibe à 50 p. 100 une activité biologique (par exemple, la croissance) en un temps déterminé. Abrév. TI 50.

Teneur létale minimale. - Dans le cas de la toxicité pour l'homme (la teneur définie ici peut être extrapolée à l'homme), il s'agit de la plus faible teneur (autre que la TL 50) de l'air en une substance dont l'inhalation a été signalée comme cause de la mort d'un animal ou d'une personne. Abrév. TL min.

Teneur létale moyenne (1). - Dans le cas de la toxicité pour l'animal, il s'agit de la teneur à laquelle meurent, au bout d'un temps donné, 50 p. 100 des animaux auxquels on a fait absorber une certaine quantité de substance. Abrév. TL 50.

Teneur létale moyenne (2). - À des fins de comparaison ou d'extrapolation dans l'étude de la toxicité pour l'homme, il s'agit de la teneur (calculée) de l'air en une substance dont l'inhalation est censée provoquer, au bout d'un temps donné, la mort de 50 p. 100 d'une population homogène d'animaux. Elle est déterminée par suite de l'exposition d'un lot statistiquement significatif d'animaux provenant de cette population. Abrév. TL 50.

Teneur plafond. - Teneur maximale admissible établie pour une durée d'exposition bien déterminée, dans le cas d'une substance très toxique. (L'IDLH et la TLV® -C sont des teneurs plafonds.)

Teneur toxique minimale. - La plus faible teneur de l'air en une substance à laquelle des personnes ou des animaux ont été exposés, pour quelque période de temps que ce soit, sans qu'il ait eu d'effet toxique chez les personnes ou d'effets carcinogènes, néoplastogènes ou tératogènes chez les animaux ou les personnes. Abrév. TT min.

Titre (d'une solution, en chimie). - Rapport de la masse d'une substance dissoute

à la masse totale ou du nombre de moles d'un constituant au nombre total de moles.

TLV• *(Threshold Limit Value).* - Teneur limite moyenne (pondérée en fonction du temps) à laquelle la majorité des travailleurs peuvent être exposés régulièrement à raison de 8 heures par jour, 5 jours par semaine, sans subir d'effet nocif. Il s'agit d'une valeur définie et déterminée par l'ACGIH.

TLV• -C *(Threshold Limit Value-Ceiling).* - Teneur limite admissible pour un moment donné. Il s'agit d'une valeur plafond définie et déterminée par l'ACGIH.

Tolérance moyenne. - Niveau de tolérance correspondant à la teneur à laquelle 50 p. 100 des sujets d'un test survivent au bout d'un temps donné. Abrév. TLm.

SIGLES

ACGIH	American Conference of Government Industrial Hygienists
ANSI	American National Standards Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
AWQC	Ambient Water Quality Criteria (USA)
AWWA	American Water Works Association
CBG	Chemical Buyer's Guide (USA)
CCD	Condensed Chemical Dictionary (USA)
CCPA	Canadian Chemical Producers Association
CCT	Commission canadienne des transports
CHRIS	Chemical Hazards Response Information System (USA)
DOT	Department of Transportation (USA)
EPA	Environmental Protection Agency (USA)
ITII	International Technical Information Institute (Japon)
MCA	Manufacturing Chemists Association (USA)
MDT	Ministère des Transports (du Canada)
NACE	National Association of Corrosion Engineers (USA)
NAS	National Academy of Sciences (USA)
NFPA	National Fire Protection Association (USA)
NIOSH	National Institute of Occupational Safety and Health
NRC	National Research Council (USA)
OSHA	Occupational Safety and Health Administration (USA)
STCC	Standard Transportation Commodity Code (Amérique du Nord)

1 RÉSUMÉ

Acide nitrique (HNO_3)

Liquide incolore, jaune ou brun pâle, dégageant une odeur suffocante.

Synonymes

Acide azotique, esprit de nitre, eau forte (Syn. anglais: *nitric acid*)

Numéros d'identification

UN1760 (< 40 p. 100 d'acide), UN2031 (> 40 p. 100 d'acide), UN2032 (acide nitrique fumant); CAS 7697-37-02; OHM-TADS 7216816; STCC 4918528 (> 40 p. 100 d'acide), STCC 4918529 (acide nitrique fumant), STCC 4930242 (< 40 p. 100 d'acide).

Qualités et titres

Acide commercial dilué, 40 °Bé (61,4 p. 100 de HNO_3)

Acide commercial dilué, 42 °Bé (67,2 p. 100 de HNO_3)

Acide nitrique fumant rouge et blanc

Dangers immédiats

Incendie. - L'acide nitrique est incombustible mais peut être comburant au contact de matières combustibles.

Effets sur l'homme. - Très toxique en cas d'ingestion, d'inhalation ou de contact avec la peau. Il attaque les tissus.

Effets sur l'environnement. - L'acide nitrique est nocif pour les organismes aquatiques ainsi que pour les animaux terrestres et les oiseaux.

Données relatives aux propriétés physiques

	Pur	40 °Bé	42 °Bé	Fumant, blanc	Fumant, rouge
État (15 °C, 1 atm)	Liquide	Liquide	Liquide	Liquide	Liquide
Point d'ébullition	82,6 °C	120 °C	117,8 °C	84 °C	64,2 °C
Point de fusion	-41,6 °C	≃-24,5 °C	≃-32,0 °C	-41,6 °C	-52 °C
Inflammabilité	Incombustible (toutes les présentations)				
Tension de vapeur	6,0 kPa (20 °C)	0,4 kPa (24 °C)	0,91 kPa (20 °C)	8,3 kPa (20 °C)	18,6 kPa (25 °C)
Masse volumique (g/ml)	1,50 (25 °C)	1,38 (16 °C)	1,41 (15 °C)	1,50 (25 °C)	1,55 (25 °C)
Miscibilité (à l'eau)	Miscible	Miscible	Miscible	-	-
Comportement dans l'eau	Coule et se mélange, avec réaction exothermique et dégagement de fumées toxiques et corrosives				
Comportement dans l'air	Les vapeurs d'acide nitrique sont plus lourdes que l'air				

Dangers pour l'environnement

L'acide nitrique est toxique pour les organismes aquatiques car il acidifie les eaux. L'ion nitrate est toxique pour les espèces terrestres et aériennes.

Dangers pour l'homme

Teneur maximale admissible (TLV®) établie par l'ACGIH: 2 ppm (5 mg/m^3) - inhalation.

Teneur immédiatement dangereuse pour la vie ou la santé (IDLH) établie par le NIOSH: 100 ppm.

Effets en cas d'inhalation. - L'inhalation du produit cause une irritation des muqueuses et de l'appareil respiratoire. Dans les cas extrêmes, l'inhalation de fumées ou vapeurs d'acide nitrique peut causer un oedème pulmonaire et peut s'avérer mortelle.

Effets en cas de contact. - Le contact avec la peau cause de l'irritation, une décoloration de la peau (celle-ci devient jaune), des brûlures et peut causer des ulcères ou une nécrose. En cas de contact des vapeurs avec les yeux ou de projection du produit dans les yeux, les principaux effets sont: irritation des yeux, conjonctivite, brûlure, opacification de la cornée, cécité.

Effets en cas d'ingestion. - L'acide nitrique concentré peut être mortel même si ingéré en petite quantité.

Dispositions immédiates à prendre

- En cas de déversement

Interdire l'accès aux lieux où s'est produit l'accident. Signaler que le produit est "CORROSIF, OXYDANT, POISON". Appeler les pompiers et avertir le fabricant. Arrêter la fuite du produit et contenir le produit déversé, si cela ne présente aucun danger. Éviter tout contact avec le liquide et ne pas inhaler les vapeurs ou fumées qu'il dégage. Intervenir en restant dos au vent, la nappe devant soi. Empêcher toute eau polluée d'atteindre un égout ou un cours d'eau.

- En cas d'incendie

L'acide nitrique est incombustible. Refroidir avec de l'eau les récipients exposés aux flammes afin d'éviter qu'ils explosent et pour absorber les oxydes d'azote libérés.

Mesures d'intervention d'urgence

- Acide nitrique répandu sur le sol

Contenir le produit au moyen de barrières ou le diriger vers des surfaces imperméables. Récupérer avec des pompes ou autres dispositifs d'aspiration. Neutraliser le sol pollué avec de la chaux, du bicarbonate de soude ou du carbonate de sodium.

- Acide acétique déversé dans l'eau

Confiner la nappe au moyen de barrages, de sacs de sable ou de barrières naturelles. Neutraliser si possible la zone polluée avec de la chaux, du bicarbonate de soude ou du carbonate de sodium.

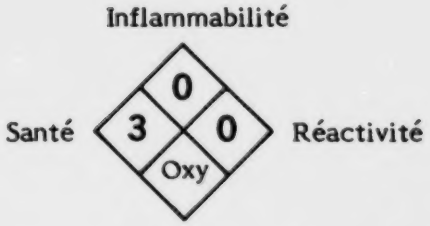
- Acide nitrique émis dans l'atmosphère

Utiliser un jet d'eau pour abattre les vapeurs. Confiner l'eau de ruissellement en vue de l'épurer ou de l'éliminer ultérieurement.

Niveau de gravité du risque selon la NAS

Incendie	0
Santé	
Irritation causée par des vapeurs	3
Irritation causée par le produit à l'état liquide ou solide	4
Intoxication	5
Pollution de l'eau	
Toxicité pour l'homme	3
Toxicité pour les espèces vivantes du milieu aquatique	3
Atteinte à l'esthétique de l'environnement	2
Réactivité	
Autres produits chimiques	4
Eau	0
Réaction spontanée	0

Évaluation du risque selon la NFPA



		Solution aqueuse		Acide fumant	
	Pur	40 °Bé	42 °Bé	Blanc	Rouge
Aspect	Incolore (Kirk-Othmer, 1981)	Liquide limpide, incolore ou jaune pâle à brun pâle (Kirk-Othmer, 1981)		Incolore (CPIA, 1970)	Brun-roux (CPIA, 1970)
État à l'expédition	Pas disponible dans le commerce (Kirk-Othmer, 1981)	Liquide	Liquide	Liquide (CPIA, 1970)	Liquide (CPIA, 1970)
État d'agrégation (15 °C, 101 kPa)	Liquide	Liquide		Liquide (CPIA, 1970)	Liquide (CPIA, 1970)
Variables d'état					
Point de fusion	- 41,6 °C (Kirk-Othmer, 1981)	Voir le diagramme de phases $HNO_3 . H_2O$ (fig. 1)		- 41,6 °C (CPIA, 1970)	-52 °C (CPIA, 1970)
Point de congélation	-37,62 °C ($HNO_3 . H_2O$) -18,47 °C ($HNO_3 . 3H_2O$) (Kirk-Othmer, 1981)	-24 °C (Ashland, 1980)	-32 °C (Ashland, 1980)		
Point d'ébullition (à 101 kPa)	82,6 °C (Bailar, 1973) 86,0 °C (Kirk-Othmer, 1981)	120 °C (Du Pont MSDS, 1980)	117,8 °C (Ashland MSDS, 1977)	84 °C (CPIA, 1970)	64,19 °C (calc.) (AFRPL, 1977)
	Azéotrope: 120,5 °C (68 p. 100 en poids de HNO_3) (CRC, 1982)				
Tension de vapeur (kPa)	6,0 (20 °C)	0,4 (24 °C) (Du Pont MSDS, 1980)	0,907 (20 °C) (Ashland MSDS, 1977)	8,34 (25 °C) (CPIA, 1970)	18,6 (25 °C) (CPIA, 1970)
Température de décomposition	>- 41,6 °C (Kirk-Othmer, 1981)	-	-	-	-

	Pur	Solution aqueuse		Acide fumant	
		40 °Bé	42 °Bé	Blanc	Rouge
Masse volumique et densités					
Masse volumique (kg/m^3)	Liquide: 1512,9 (20 °C) (Kirk-Othmer, 1981)	-	-	1503 (25 °C) (CPIA, 1970)	1550 (25 °C) (CPIA, 1970)
	Solide: 1895 (- 41,6 °C) (Bailar, 1973)	-	-	-	-
Densité relative du liquide	1,5027 (25 °C) (CRC, 1982)	1,3810 (15,5 °C) (Ashland, 1977)	1,4078 (15,5 °C) (Ashland, 1977)	-	-
Densité relative des vapeurs	-	-	-	3 (CPIA, 1970)	-
Densité relative de l'azéotrope		1,41 (20 °C) (CRC, 1982)			
Propriétés relatives à la combustion					
Inflammabilité	Incombustible (toutes les formes)				
Chaleur de décomposition	(Voir données sous Variables d'état)		-	-	-
Produits de décomposition	Oxydes d'azote, NO_2 surtout				
Comportement au feu	Les produits de décomposition alimentent la combustion, augmentent l'inflammabilité des matières combustibles, des matières organiques ou facilement oxydables. Ils peuvent enflammer certaines matières (NFPA, 1978; CPIA, 1970)				
Miscibilité					
Eau	Miscible en toutes proportions (Kirk-Othmer, 1981)				

	Pur	Solution aqueuse		Acide fumant	
		40 °Bé	42 °Bé	Blanc	Rouge
Autres substances	Réagit violemment dans l'éthanol, miscible au diéthyléther (CRC, 1980)				
Autres propriétés					
Masse moléculaire du corps pur	63,01 (CRC, 1980)	-	-	-	57,2 (AFRPL, 1977) (masse formulaire du mélange)
Formule chimique	HNO_3	-	-	-	$H_{0,8894}$ $H_{0,9365}$ $O_{2,6989}$
Composition caractéristique de la qualité commerciale	Ne se trouve pas dans le commerce	61,4 à 62,4 p. 100 de HNO_3	67,2 à 68,2 p. 100 de HNO_3	97,5 p. 100 de HNO_3, 0,5 p. 100 (max.) de NO_2, 2,0 p. 100 (max.) de H_2O	82,4 à 85,4 p. 100 de HNO_3, 14 ± 1,0 p. 100 de NO_2, 1,5 à 2,5 p. 100 de H_2O
Indice de réfraction	1,397 (16,4 °C) (CRC, 1980) 1,4030 (5 °C) (Bailar, 1973)	-	-	-	-
Viscosité du liquide	0,9 mPa . s (20 °C) (Kirk-Othmer, 1981)	2,0 mPa . s (60 p. 100) (20 °C) (Kirk-Othmer, 1981)	2,0 mPa . s (70 p. 100) (20 °C) (Kirk-Othmer, 1981)	0,733 mPa . s (25 °C) (CPIA, 1970)	1,231 mPa . s (25 °C) (calc.) (AFRPL, 1977)
Tension superficielle	41,5 mN/m (20 °C) (Bailar, 1973) 42,7 mN/m (98,5 %) (11,6 °C) (CRC, 1980)	-	-	-	40,13 mN/m (25 °C) (calc.) (AFRPL, 1977)
Hygroscopicité	Hygroscopique (MCA, 1961)				

	Pur	Solution aqueuse		Acide fumant	
		40 °Bé	42 °Bé	Blanc	Rouge
Chaleur latente de fusion	166,3 kJ/kg, 216,3 kJ/kg ($HNO_3 . H_2O$) 248,9 kJ/kg ($HNO_3 . 3H_2O$) (Kirk-Othmer, 1981)	-	-	-	183,2 kJ/kg (- 41,6 °C) (AFRPL, 1977)
Chaleur latente de vaporisation	626,6 kJ/kg (20 °C) (Kirk-Othmer, 1981)	-	-	-	587,8 kJ/kg (64,19 °C) (calc.) (AFRPL, 1977)
Chaleur de formation (gaz)	-1989 kJ/kg (0 °C) -2145 kJ/kg (25 °C) (Bailar, 1973)	-	-	-	-
Chaleur de formation (liquide)	-2751,1 kJ/kg (25 °C) (Kirk-Othmer, 1981)	-	-	-	-2759 kJ/kg (25 °C) (calc.) (AFRPL, 1977)
Chaleur de formation $HNO_3 . H_2O$	-7492 kJ/kg (25 °C) (Kirk-Othmer, 1981)	-	-	-	-
Chaleur de formation $HNO_3 . 3H_2O$	-14 100 kJ/kg (25 °C) (Kirk-Othmer, 1981)	-	-	-	
Potentiel d'ionisation	11,03 eV (Rosenstock, 1977)	-	-	-	-
Chaleur de dissolution (liquide)	-528,5 kJ/kg (25 °C) (CRC, 1982) - 476,4 kJ/kg (10 °C) (CRC, 1957)				
Chaleur intégrale de dilution (pour une dilution infinie) $HNO_3 . H_2O$	-244,56 kJ/kg (Bailar, 1973)				

	Pur	Solution aqueuse		Acide fumant	
		40 °Bé	42 °Bé	Blanc	Rouge
$HNO_3 . 3H_2O$	-75,96 kJ/kg (Bailar, 1973)				
Capacité calorifique à pression constante					
gaz	0,847 kJ/(kg . K) (25 °C) (Bailar, 1973)	-	-	-	-
liquide	1,76 kJ/(kg . K) (20 °C) (Kirk-Othmer, 1981) 1,74 kJ/(kg . K) (25 °C) (Bailar, 1973)	-	-	-	1,758 kJ/(kg . K) (25 °C) (AFRPL, 1977)
$HNO_3 . H_2O$	2,25 kJ/(kg . K) (25 °C) (Bailar, 1973)	-	-	-	
$HNO_3 . 3H_2O$	2,78 kJ/(kg . K) (25 °C) (Bailar, 1973)	-	-	-	
Conductivité thermique	0,28 W/(m . K) (20 °C) (Kirk-Othmer, 1981)	0,40 W/(m . K) (20 °C) (60 p. 100) (Kirk-Othmer, 1981)	0,36 W/(m . K) (20 °C) (70 p. 100) (Kirk-Othmer, 1981)	-	0,2915 W/(m . K) (25 °C) (AFRPL, 1977)
Teneur saturante	165 g/m^3 (20 °C) (calculée)				
Coefficient de diffusion	2,98 x 10^{-5} cm^2/s (dans l'eau, à 25 °C) (Perry, 1973) 2,39 x 10^{-5} cm^2/s (CRC, 1957) (solution aqueuse dans H_2O pur) 0,1 molécule/l (à 19,5 °C)	-	-	-	-

	Pur	Solution aqueuse		Acide fumant	
		40 °Bé	42 °Bé	Blanc	Rouge
pH de la solution aqueuse	4,9 (0,0032 M) (Jones, 1969) 1,0 (0,1 M, calculé pour une solution ionisée à 93 p. 100 (Cotton, 1972) 1,0 (0,1 M, basé sur les valeurs de la fonction d'acidité, H_0 (25 °C) (Paul, 1957; Bell, 1959) 0,6 (0,25 M, basé sur les valeurs de la fonction d'acidité, H_0 (25 °C) (Paul, 1957; Bell, 1959) 0,2 (0,5 M, basé sur les valeurs de la fonction d'acidité, H_0 (25 °C) (Paul, 1957; Bell, 1959)				
Mélanges eutectiques (solution aqueuse)		32,7 p. 100, point de congélation - 43 °C (Lange's Handbook, 1979) ≈ 71 p. 100, point de congélation ≈- 41 °C (Kirk-Othmer, 1981) ≈ 91 p. 100, point de congélation -60 °C (Kirk-Othmer, 1981)			
Pression critique	-	-	-	-	8,34 mPa (calc.) (AFRPL, 1977)
Température critique	-	-	-	-	273,33 °C (calc.) (AFRPL, 1977)
Coefficient de dilatation cubique	0,00124 (20 °C) (Raznjevic, 1976)	-	-	-	-
Constante de Trouton	88,76 kJ/kg (Bailar, 1973)	-	-	-	-
Constante diélectrique	50 ± 10 (Bailar, 1973)	-	-	-	-
Conductance spécifique	$3,72 \times 10^{-2}$ ohm^{-1} cm^{-1} (Bailar, 1973)	-	-	-	-
Facteur de conversion pour les vapeurs	1 ppm = 2,619 mg/m^3 (20 °C) (Verschueren, 1984)				

Chimie de l'acide nitrique

L'acide nitrique pur est un liquide incolore ou un solide cristallin blanc. Le premier a un point de congélation de - 41,59 °C mais se décompose au-dessus de cette température selon le schéma réactionnel suivant:

$$2HNO_3 \rightarrow 2NO_2 + H_2O + 1/2O_2$$

La décomposition de la phase gazeuse se produit également selon le schéma susmentionné. On sait depuis longtemps que la décomposition des composés contenant de l'azote et de l'oxygène peut être compliquée par l'établissement d'autres équilibres. Un tel mécanisme est basé sur la déshydratation de l'acide:

$$2HNO_3 \rightarrow N_2O_5 + H_2O$$

suivie par la décomposition du pentoxyde d'azote, réaction normale du premier ordre:

$$N_2O_5 \rightarrow NO_2 + NO_3$$
$$NO_2 + NO_3 \rightarrow NO_2 + O_2 + NO$$
$$NO + N_2O_5 \rightarrow 3NO_2 \text{ ou } NO + NO_3 \rightarrow 2NO_2$$

Un autre mécanisme fait appel à des radicaux OH:

$$HNO_3 \rightarrow NO_2 + OH$$
$$OH + HNO_3 \rightarrow NO_3 + H_2O$$
$$NO_3 + NO_2 \rightarrow NO_2 + O_2 + NO$$
$$NO + NO_3 \rightarrow 2NO_2$$

Le solide est assez stable, mais le liquide s'altère jusqu'à un certain point à toute température supérieure à son point de fusion et jaunit en l'espace d'une heure à la température de la pièce. Même l'acide concentré aqueux normal (environ 70 p. 100 en poids d'acide nitrique) est incolore au début mais jaunit ou brunit souvent à la suite de la décomposition photochimique qui produit du peroxyde d'azote selon l'équation qui précède. De tous les acides liquides purs, l'acide nitrique est celui qui possède le plus fort potentiel d'auto-ionisation, selon l'équation:

$$2HNO_3 \rightleftharpoons H_2NO_3^+ + NO_3^-$$

suivie par une perte rapide d'eau:

$$H_2NO_3^+ \rightleftharpoons H_2O + NO_2^+$$

L'auto-dissociation globale est donc représentée par l'équation suivante:

$$2HNO_3 \rightleftharpoons NO_2^+ + NO_3^- + H_2O$$

(Cotton, 1972; Bailar, 1983; Jolly, 1964; Kirk-Othmer, 1981). D'autres auteurs indiquent que l'auto-ionisation se fait selon les équations suivantes:

$$2HNO_3 \rightleftharpoons H_2O + N_2O_5 \rightleftharpoons H_2O + NO_2^+ + NO_3^-$$

suivies par une ionisation plus poussée (Bailar, 1973):

$$H_2O + HNO_3 \rightleftharpoons H_3O^+ + NO_3^-$$

L'acide est entièrement miscible à l'eau. Les formes les plus connues et les plus utilisées sont les solutions aqueuses, auxquelles on ajoute parfois du peroxyde d'azote dissous. Dans des solutions aqueuses diluées, l'acide nitrique est un acide fort, c'est-à-dire complètement dissocié en ions (Vanderwerf, 1961; Jolly, 1964). Une autre référence indique que l'acide est dissocié à environ 93 p. 100 à 0,1 M et est considéré comme un acide monobasique fort (Cotton, 1972). Le spectre Raman de solutions d'acide nitrique indique que l'ionisation est incomplète à des concentrations molales aussi faibles que 3 et qu'une grande partie de l'acide est sous forme de molécules de HNO_3 aux concentrations supérieures. Les mesures réelles indiquent que le degré d'ionisation est d'environ 100 p. 100 à la concentration molale 1, de 98 p. 100 à 2 M, de 90 à 4 M, de 50 p. 100 à 15 M et d'environ 30 p. 100 à 23 M, ce qui indique clairement que l'acide nitrique réagit comme un acide fort aux faibles concentrations molales mais comme acide partiellement ionisé aux concentrations supérieures (McKay, 1956). On a démontré que cet acide était beaucoup plus faible que les autres acides forts comme l'acide sulfurique (H_2SO_4), l'acide chlorhydrique (HCl), l'acide bromhydrique (HBr) et l'acide perchlorique ($HClO_4$) dans des solvants non aqueux à faible constante diélectrique comme l'acide acétique (CH_3COOH) (Jolly, 1964). Lorsqu'ils sont comparés à ceux des acides forts susmentionnés, les courbes de la fonction d'acidité (H_o) de l'acide nitrique à diverses valeurs de molarité allant jusqu'à 7 indiquent des potentiels acides considérablement inférieurs à ceux des autres qui sont groupés en formation plus serrée. À des molarités inférieures à 0,9, les courbes se rejoignent, ce qui indique que l'acide agit réellement comme un acide fort dans des solutions diluées. L'équation de la fonction acide de l'acide nitrique est:

$$-H_o = \log \alpha m - 4 \log (1 - 0{,}072\, \alpha m) + 3 \log (1 + 0{,}032\, m)$$

où α est le degré de dissociation et m est la concentration molale (Bell, 1959).

Deux hydrates, le monohydrate ($HNO_3 . H_2O$) et le trihydrate ($HNO_3 . 3H_2O$), peuvent être cristallisés à partir de la solution aqueuse. Le premier a un point de fusion de -37,62 °C et correspond à 77,77 p. 100, en poids, d'acide; le dernier fond à -18,47 °C et correspond à 58,83 p. 100, en poids, d'acide. Le spectre Raman du premier indique qu'il existe sous forme de nitrate d'hydronium ($H_3O + NO_3$-). L'existence d'un hydrate dimère ($2HNO_3 . 3H_2O$) a également été confirmée (Cotton, 1972; Bailar, 1973; Jolly, 1964; Kirk-Othmer, 1981).

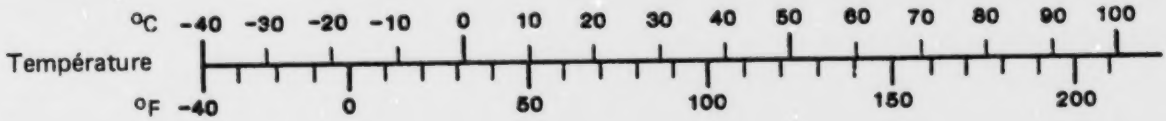
L'acide nitrique est un puissant oxydant mais la vitesse de ses réactions et ses produits de réduction dépendent grandement du titre de la solution. Il semble également que son pouvoir oxydant dépend de la présence d'oxydes d'azote libres. Par exemple, des concentrations inférieures à 2 M ont un faible pouvoir oxydant alors que l'acide concentré est un puissant oxydant qui attaque tous les métaux sauf l'or, le platine, le rhodium et l'iridium. L'aluminium, le fer et le cuivre deviennent passifs à son contact. Seul le magnésium libère de l'hydrogène, et même là, cette réaction ne se produit qu'au début du contact avec l'acide dilué. Dans des solutions dont la concentration est inférieure à 1 M, l'iode n'est libéré que très lentement des iodures, tandis qu'à des concentrations supérieures à 2 M, l'iode, le brome et le chlore sont libérés rapidement des halogénures. L'acide nitrique pur n'attaque pas le cuivre; cependant, lorsque des oxydes d'azote sont introduits, la réaction, lente au début, s'accélère rapidement et elle est violente. Comme on l'a déjà mentionné, les produits de réduction de l'acide nitrique varient selon la concentration de l'acide et la force du réducteur avec lequel il réagit. L'acide nitrique dilué a tendance à donner principalement l'oxyde azotique NO; l'acide concentré produit un mélange plus riche en peroxyde d'azote (NO_2), mais un mélange d'oxydes est généralement observé. Lorsqu'il réagit avec un agent réducteur puissant comme le zinc métallique, l'acide nitrique très dilué produit un mélange d'ammoniac (NH_3) et d'hydroxylamine (NH_2OH). Il réagit également avec les composés organiques, mais dans ce cas, il n'agit ni comme oxydant ni comme source d'ions hydrogène (Jolly, 1964; Kirk-Othmer, 1981; Cotton, 1972).

L'acide nitrique fumant est de l'acide nitrique concentré qui contient du peroxyde d'azote dissous (NO_2). Ce dernier se trouve en excès dans l'acide nitrique rouge fumant qui peut être hydraté en acide nitrique (HNO_3) et en oxyde azotique (NO). La tension de vapeur et la masse volumique de ces solutions augmentent proportionnellement avec le pourcentage de peroxyde d'azote présent. Par exemple, un acide contenant en poids environ 45 p. 100 de peroxyde d'azote et 55 p. 100 d'acide nitrique a une tension de vapeur de 101 kPa (760 mm de mercure) à 25 °C et une masse volumique de 1640 kg/m^3. Des échantillons contenant NO_2/HNO_3 dans des rapports (en pourcentage) de 14 ± 1,0/82,4 à 85,4 et 0,5/97,5 (le reste étant essentiellement de l'eau) ont des tensions de vapeur respectives de 18,6 et 8,34 kPa et des masses volumiques

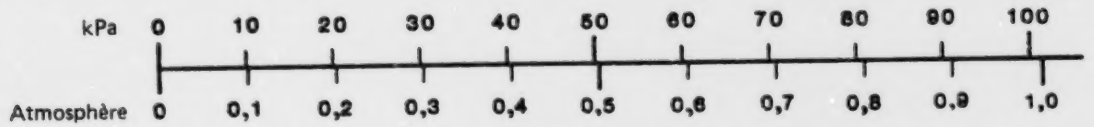
respectives de 1550 à 1503 kg/m^3. Les acides fumants sont incolores à jaune ou brun rougeâtre. Ce sont généralement des liquides corrosifs et limpides, très fumants, qui dégagent des vapeurs d'acide nitrique et des oxydes d'azote. Ce sont de puissants oxydants qui attaquent énergiquement la plupart des métaux, réagissent avec un grand nombre de matières organiques qui s'enflamment spontanément au contact d'acide nitrique fumant. Ces composés sont hygroscopiques et réagissent avec l'eau de mer, libérant de grandes quantités d'oxydes d'azote. Les acides fumants sont solubles dans l'eau en toutes proportions. La réaction est exothermique et il y a dégagement d'oxydes d'azote (Cotton, 1972; Kirk-Othmer, 1981; CPIA, 1970).

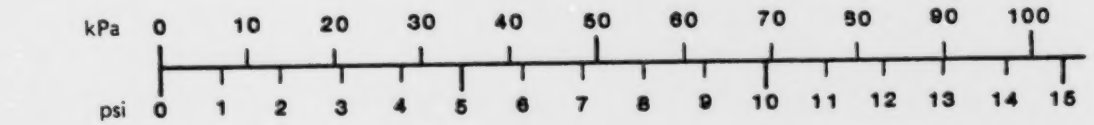
Tableau 1

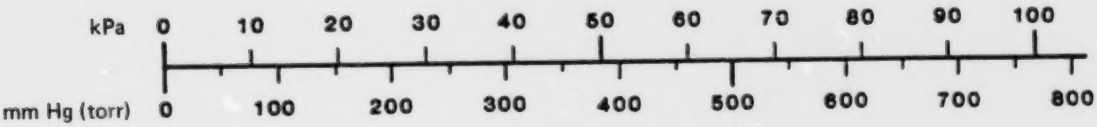
ACIDE NITRIQUE — **NOMOGRAMMES DE CONVERSION**



Pression — 1 kPa = 1 000 Pa







Viscosité

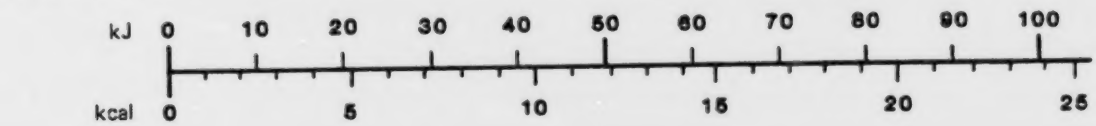
Dynamique — 1 Pa·s = 1 000 centipoises (cPo)

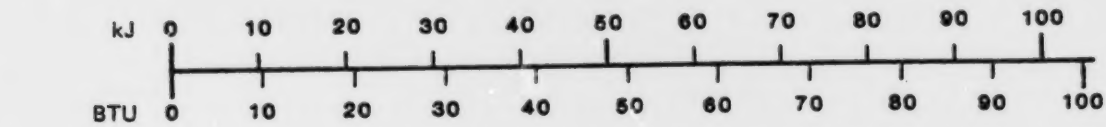
Cinématique — 1 m^2/s = 1 000 000 centistokes (cSt)

Teneur (de l'eau)

1 ppm ≅ 1 mg/l

Énergie (chaleur) — 1 kJ = 1 000 J





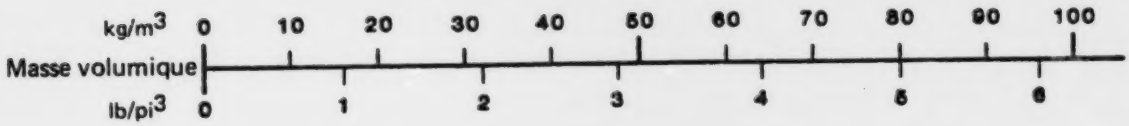


Figure 1

ACIDE NITRIQUE

DIAGRAMME DE PHASES DU SYSTÈME $NHO_3 . H_2O$

Sources: Kirk-Othmer, 1981; Linke, 1958

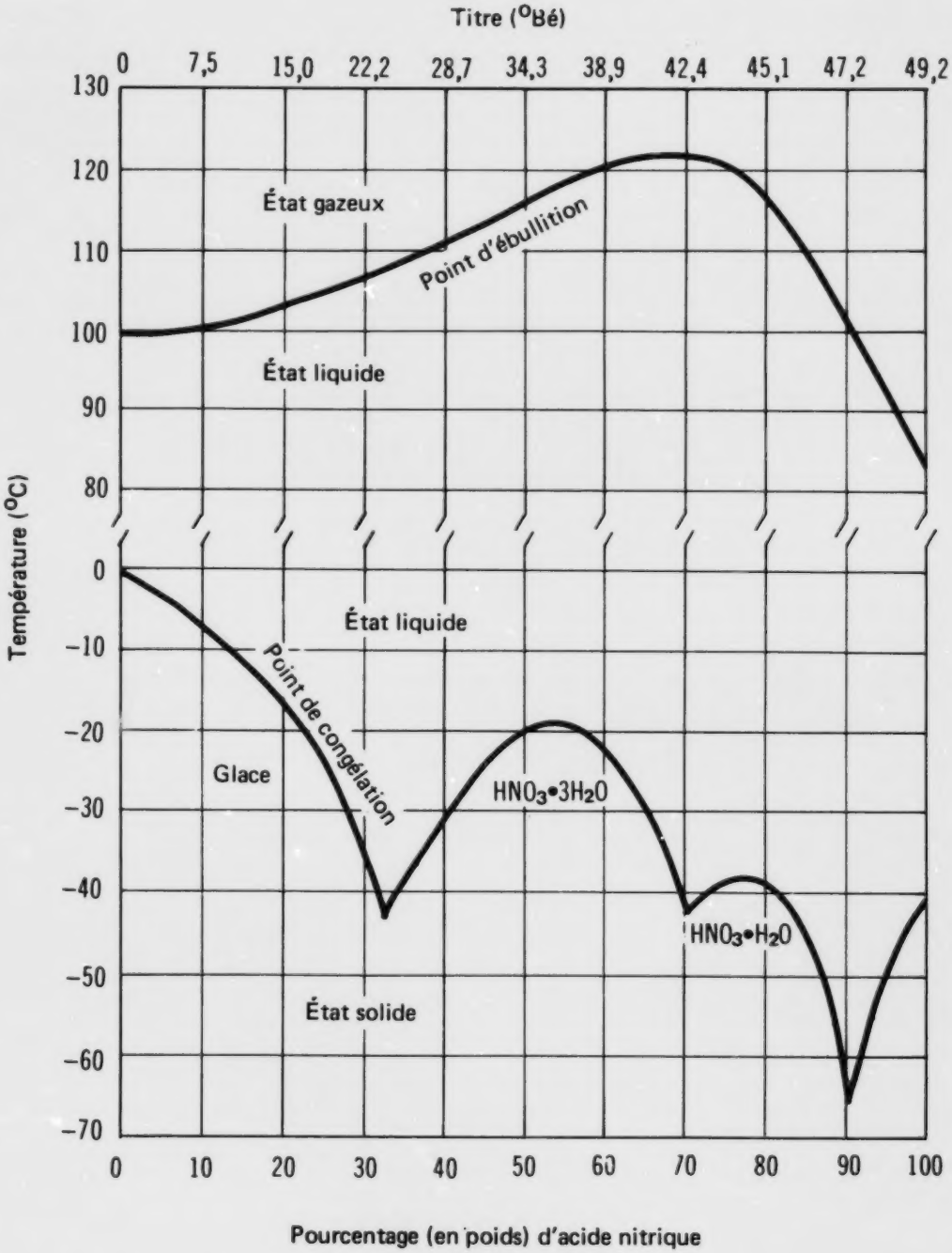


Figure 2

ACIDE NITRIQUE PUR

TENSION DE VAPEUR EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Sources: Kirk-Othmer, 1981; CRC, 1982

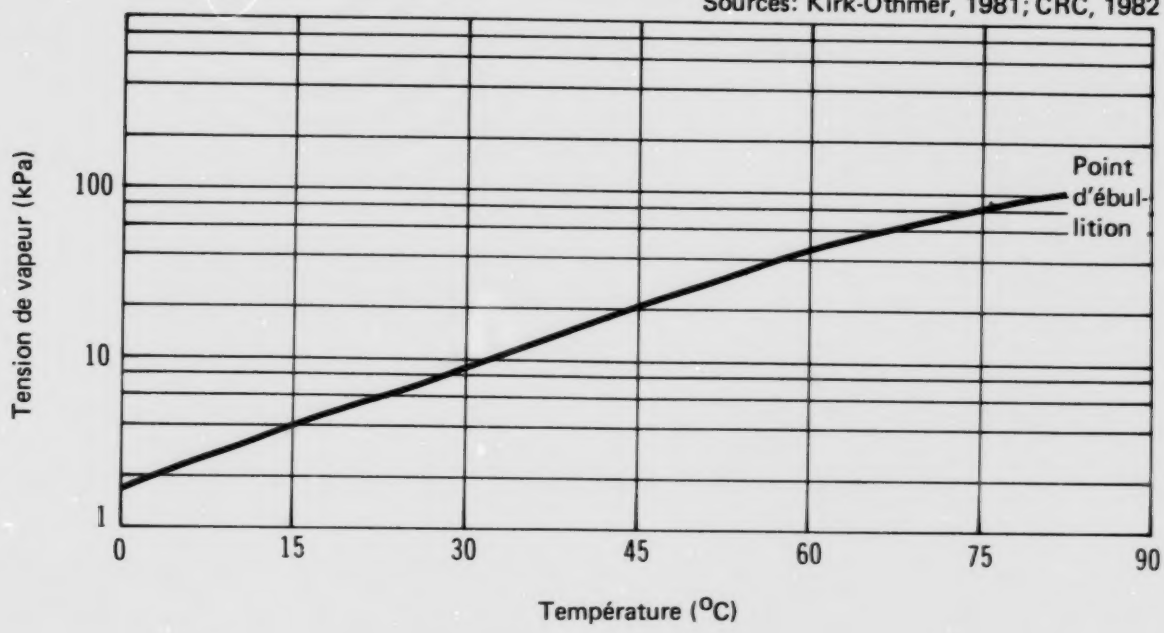


Figure 3

ACIDE NITRIQUE PUR

MASSE VOLUMIQUE DU LIQUIDE EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE

Source: Bailar, 1973

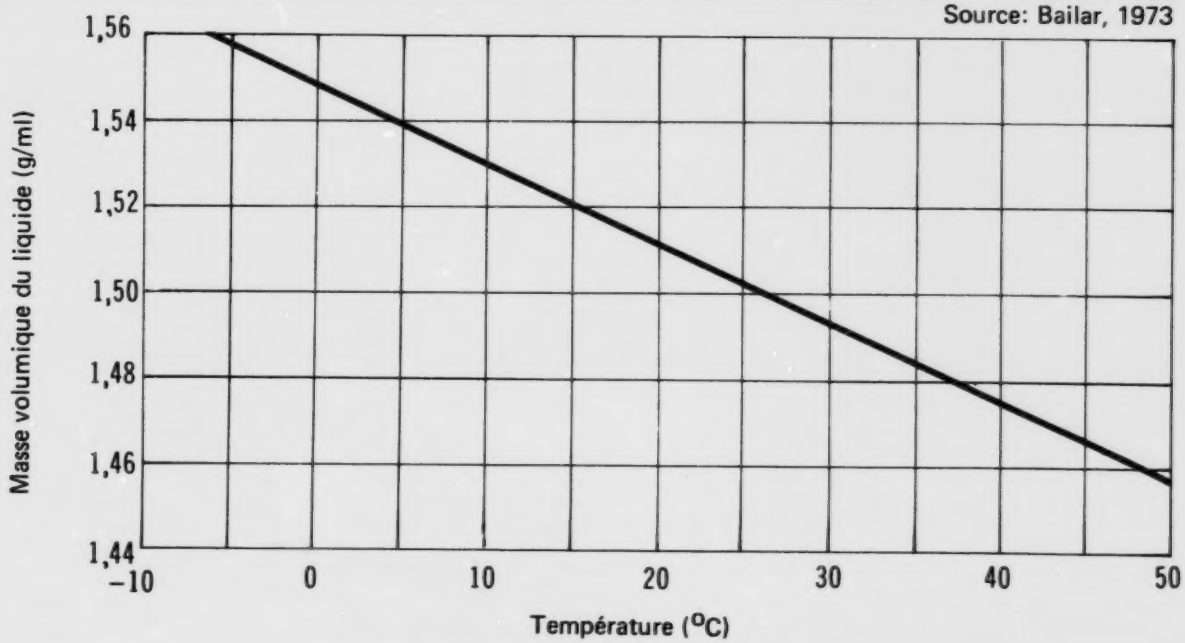


Figure 4

ACIDE NITRIQUE

MASSE VOLUMIQUE DES SOLUTIONS

Source: Kirk-Othmer, 1981

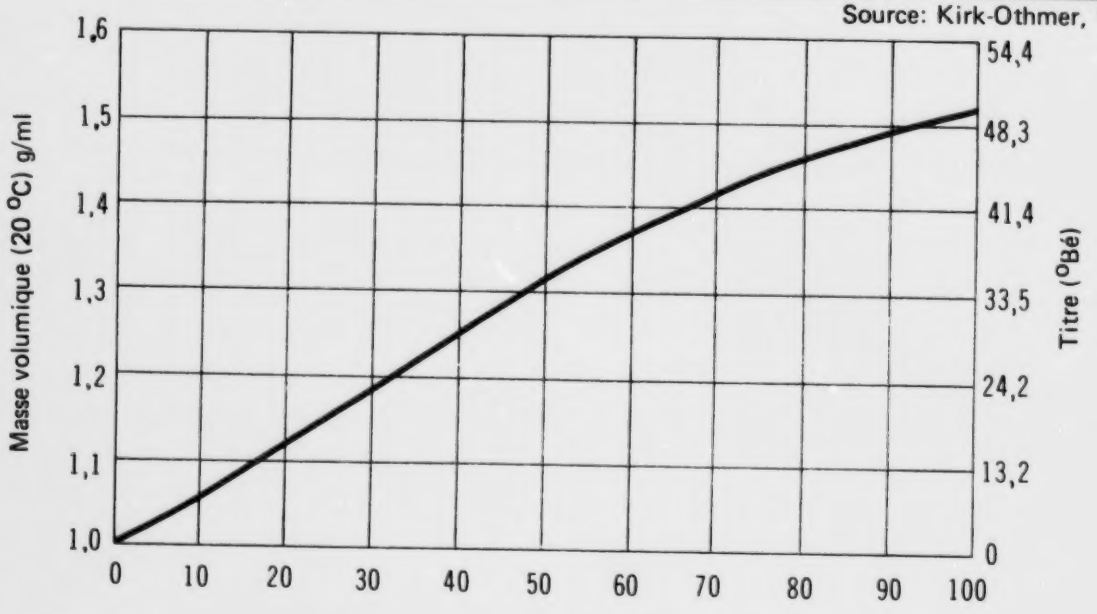


Figure 5

ACIDE NITRIQUE

VISCOSITÉ DES SOLUTIONS

Source: Kirk-Othmer, 1981

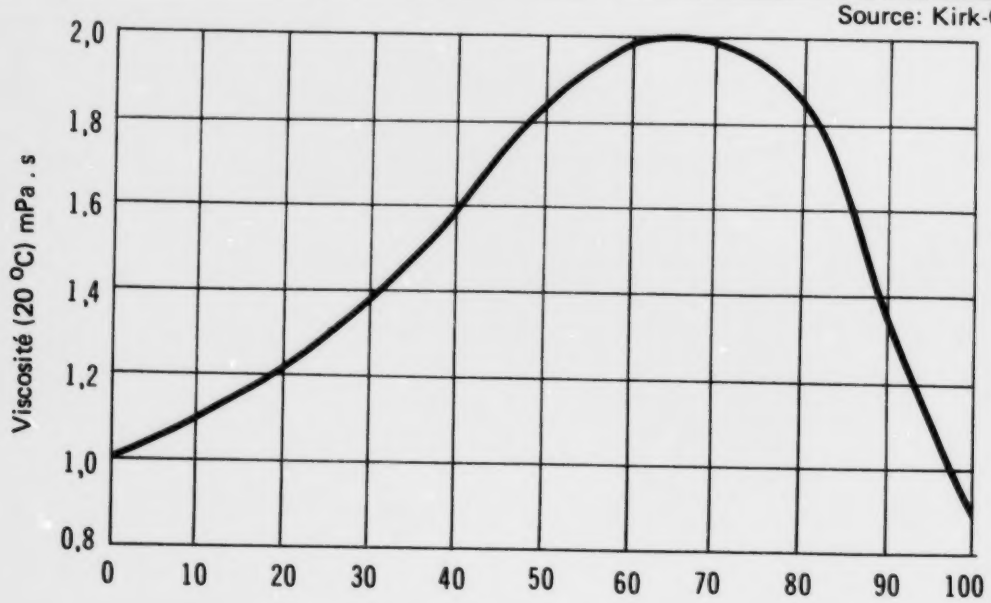
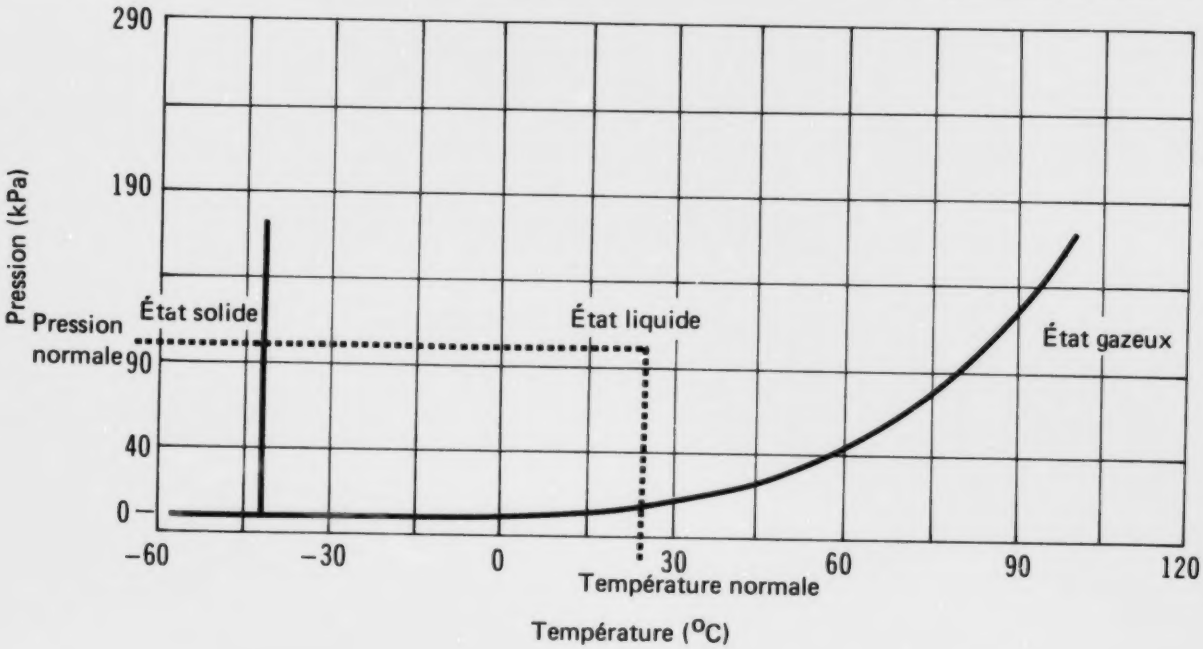


Figure 6

ACIDE NITRIQUE PUR — **DIAGRAMME DE PHASES**



3 PRODUCTION, TRANSPORT ET COMMERCE

3.1 Qualités et titres (Corpus, 1984; Ashland, TD 1980)

L'acide nitrique du commerce titre 40 °Bé ou 42 °Bé (61,38 et 67,18 p. 100). Il se vend également sous forme d'acide fumant rouge et blanc.

3.2 Centres de production et transport

L'acide nitrique actuellement produit au Canada provient principalement de l'Ontario, qui compte des usines à Maitland, Niagara Falls et Courtright, et de l'Alberta, où l'on trouve des usines à Carseland, Redwater, Calgary et Medicine Hat. Les usines de l'Ontario fonctionnent à 40 p. 100 de leur capacité nominale, et celles de l'Alberta, à 60 p. 100. D'autres installations de production sont situées au Québec et au Manitoba (voir figure 7). L'acide nitrique est expédié un peu partout au Canada. La majeure partie de la production est toutefois utilisée par les producteurs eux-mêmes pour la fabrication de nitrate d'ammonium dans la même usine ou à proximité de celle-ci.

Figure 7

ACIDE NITRIQUE — CENTRES DE PRODUCTION (CANADA)

3.3 **Fabricants situés au Canada** (Corpus, 1984; CBG, 1980)

Les adresses qui suivent sont celles des sièges sociaux et non celles des services d'information en cas de déversement.

Canadian Industries Ltd., 90 Sheppard Avenue East, North York (Ontario) M2N 6H2, (416) 226-6110
Cominco, 200 Granville Street, Vancouver (C.-B.) V6C 2R2, (604) 682-0611
Cyanamid Canada, 2255 Sheppard Avenue East, Willowdale (Ontario) M2J 4Y5, (416) 498-9405
Du Pont Canada, Box 2200, Streetsville, Mississauga (Ontario) L5M 2H3
Esso Chemical Canada, 2300 Yonge Street, Toronto (Ontario) M5W 1K3 (416) 488-6600
Genstar Chemical Limited, 1255 rue Université, suite 1420, Montréal (Québec) H3B 3X1
Nitrochem Inc., Suite 800, 2055 rue Peel, Montréal (Québec), H3A 1V4, (514) 849-9222
Simplot Chemical, P.O. Box 940, Brandon (Manitoba) R7A 6A1, (204) 728-5701
Valleyfield Chemical Products, C.P. 5520, Valleyfield (Québec) J6S 4V9, (514) 371-5520
Western Co-operative Fertilizers, 11111 Barlow Street S.E., P.O. Box 2500, Calgary (Alberta) T2P 2N1, (403) 279-4421

3.4 **Autre fournisseur** (CBG, 1980; Scott, 1979)

Monsanto Canada Inc., 2000 Argentia Road, Plaza 2, 3rd Floor, Mississauga (Ontario) L5M 2G4, (416) 826-9222

3.5 **Volumes de production** (Corpus, 1984)

Société	Emplacement	Capacité nominale kilotonnes/an (1982)
C-I-L,	Beloeil, (QC)	60
C-I-L,	Nobel, (Ont.)*	16,5
C-I-L,	Courtright, (Ont.)	90
C-I-L,	Carseland, (Alb.)	180
Cominco	Calgary, (Alb.)	51
Cyanamid Canada	Niagara Falls (Ont.)	160
Du Pont Canada	North Bay (Ont.)	18
Esso Chemical Canada	Redwater (Alb.)	150
Nitrochem	Maitland (Ont.)	227
Simplot Chemical	Brandon (Man.)	110
Valleyfield Chemical Products	Valleyfield (QC)	40
Western Cooperative Fertilizers	Medicine Hat (Alb.)	85
Western Cooperative Fertilizers	Calgary (Alb.)	65
Total		1252,5
Production nationale (1982)		1020
Importations		0,5
Total des approvisionnements		1020,5

* Usine fermée en 1983.

3.6 Fabrication industrielle

(FRC, 1975; Kirk-Othmer, 1981; Bailar, 1973)

3.6.1 Information générale. - Presque tout l'acide nitrique produit commercialement est obtenu par oxydation catalytique de l'ammoniac. Malgré certaines variations opérationnelles, cette méthode comprend trois étapes successives: oxydation de l'ammoniac en oxyde azotique (NO), oxydation de l'oxyde azotique en peroxyde d'azote (NO_2), et absorption de l'anhydride nitrique par l'eau.

3.6.2 Matières premières. - L'ammoniac anhydre et l'air ou l'oxygène pur sont les matières premières utilisées pour la production de l'acide nitrique.

3.6.3 Procédé de fabrication. - Dans la réaction initiale, l'ammoniac est oxydé avec un excès d'oxygène sur un catalyseur de platine et de rhodium très spécifique favorisant l'oxydation en oxyde azotique (équation 1) plutôt que la conversion thermodynamiquement plus favorable en azote. Les équations en compétition sont les suivantes:

$$4NH_3 + 5O_2 \rightarrow 4NO + 6H_2O \quad \Delta H_{298} = -226 \text{ kJ/mol} \qquad (1)$$

$$4NH_3 + 3O_2 \rightarrow 2N_2 + 6H_2O \quad \Delta H_{298} = -317 \text{ kJ/mol} \qquad (2)$$

Le catalyseur généralement préféré est un alliage de platine-rhodium (5 à 10 p. 100 en poids de rhodium) et parfois de platine-palladium (5 p. 100 en poids de palladium). Le catalyseur est tissé en une toile fine. Dans des conditions normales de fonctionnement, 95 à 98 p. 100 de l'ammoniac sont convertis en oxyde azotique selon l'équation 1. L'efficacité de la réaction est mesurée en pourcentage de la conversion, en acide nitrique, de l'ammoniac introduit. L'efficacité augmente proportionnellement avec la température de la toile et équivaut généralement à environ 97 p. 100 à 850 °C et 101 kPa et à environ 93 p. 100 à 900 °C et 0,4 MPa, l'expérience industrielle acquise indiquant que le rendement dépend très peu de la pression. Les valeurs habituelles d'efficacité industrielle acceptables sont de 98 p. 100 à 850 °C et 101 kPa et de 96 p. 100 à 900 °C et 0,8 MPa. Le temps de contact de l'ammoniac et du catalyseur est généralement d'environ un deux-millième de seconde.

Au cours de la deuxième étape, l'oxyde azotique est converti en peroxyde d'azote par réaction du gaz avec l'oxygène selon l'équation suivante:

$$2NO + O_2 \rightleftharpoons 2NO_2 \qquad (3)$$

La constante d'équilibre de cette réaction favorise la production de peroxyde d'azote à basse température. À moins de 150 °C, presque tout l'oxyde azotique se combine avec l'oxygène présent lorsqu'on lui accorde un temps de réaction suffisant. La vitesse de réaction est lente et

diminue proportionnellement à l'accroissement de la température; il est donc préférable de travailler à basse température pour accélérer la réaction. La pression a également un effet considérable sur l'oxydation; le volume requis pour effectuer l'oxydation d'un pourcentage donné d'oxyde azotique dans un mélange gazeux est inversement proportionnel au cube de la pression.

L'absorption de l'anhydride nitrique par l'eau constitue une réaction complexe qui comporte un grand nombre d'incertitudes; cependant, la réaction globale est généralement schématisée comme si seul le peroxyde d'azote présent dans le gaz réagissait avec l'eau liquide:

$$3NO_2(g) + H_2O(l) \rightleftharpoons 2HNO_3(aq) + NO(g) \qquad (4)$$

Il faut cependant remarquer que le peroxyde d'azote se dimérise immédiatement pour former un mélange en équilibre avec le tétroxyde de diazote:

$$2NO_2 \rightleftharpoons N_2O_4 \qquad (5)$$

Les basses températures et les pressions croissantes favorisent un déplacement vers la droite dans l'équation 5. On voit donc que l'équation 4 est une description très simplifiée du procédé d'absorption. D'après certaines études, la principale espèce réagissant est le tétroxyde d'azote, étant donné que les données d'équilibre signalées peuvent être assez bien correlées par $P_{NO}/(P_{N_2O_4})^{1,5}$ en fonction de la concentration d'acide indépendante de la température. Cependant, les principes de la conception de l'équipement peuvent être finalement déduits de l'équation 4 et des données d'équilibre disponibles. En général, les dimensions de l'équipement peuvent être réduites pour produire une quantité donnée d'acide d'un titre donné; il est possible d'augmenter la production d'acide de titre élevé en réduisant les températures de fonctionnement, en augmentant les pressions de fonctionnement, en augmentant le rapport NO_2/NO dans le gaz d'alimentation et en augmentant le volume de réaction après le contact vapeur/liquide destiné à assurer la réoxydation de l'oxyde azotique (équation 4).

Il existe de nombreuses variations de ce procédé. Dans un usine type, l'air est comprimé à environ 0,86 MPa (110 lb/po^2), préchauffé à environ 250 °C et mélangé avec de la vapeur d'ammoniac. Le mélange contenant environ 10 p. 100 d'ammoniac par volume passe dans une unité de catalyse où il réagit avec des toiles de catalyse plates superposées. L'efficacité de la conversion de l'ammoniac en oxyde azotique est d'environ 95 p. 100 à environ 930 °C. Le gaz chaud sortant du convertisseur est refroidi par échange de chaleur avec l'air d'alimentation et dans un réchauffeur de gaz de queue avant d'arriver dans un condenseur à eau. L'acide dilué provenant du condenseur est pompé jusqu'à un plateau intermédiaire dans la colonne d'absorp-

tion, alors que le gaz du procédé non condensé est poussé vers le bas de la colonne. La colonne d'absorption est constituée d'une série de plateaux perforés équipés de serpentins de refroidissement. Le gaz monte dans la colonne à contre-courant de l'acide, le peroxyde d'azote se dissout dans l'eau, formant de l'acide nitrique et de l'oxyde azotique. Ce dernier est réoxydé dans l'espace compris entre les plateaux par l'excédent d'oxygène présent dans le système. Du condensat de vapeur est ajouté comme absorbant dans la partie supérieure de la colonne. Les oxydes d'azote dissous sont séparés de l'acide ainsi produit par contact avec un courant d'air secondaire dans une colonne de blanchiment. Les gaz de queue de la colonne d'absorption sont réchauffés à environ 250 °C par échange de chaleur avec le gaz du procédé et sont ensuite dilatés dans un moteur à essence qui produit environ 40 p. 100 de la puissance nécessaire pour actionner les compresseurs d'air à pistons. Dans les usines modernes, l'élimination des fumées est obtenue par des colonnes d'absorption généralement équipées d'un système de réfrigération destiné à réduire les dimensions de la colonne.

L'acide nitrique produit par le procédé normal d'oxydation catalytique de l'ammoniac est une solution aqueuse de 50 à 70 p. 100 en poids. L'acide peut être concentré à 98 à 99 p. 100 en poids par distillation avec de l'acide sulfurique à 93 p. 100. L'acide nitrique condensé contient généralement moins de 0,1 p. 100 en poids d'oxydes inférieurs. L'acide pur peut être obtenu en traitant du nitrate de potassium (KNO_3) par de l'acide sulfurique pur à 0 °C et en séparant l'acide nitrique par distillation sous vide (Cotton, 1972).

L'American Chemical Society prescrit, pour l'acide nitrique de qualité réactif, une teneur de 69 à 71 p. 100 en poids, assortie d'autres spécifications. L'acide nitrique fumant ne doit pas contenir moins de 90 p. 100 en poids d'acide nitrique et pas plus de 0,1 p. 100 en poids d'oxydes dissous. Le U.S. Department of Defence liste les qualités ACS aussi bien sous la qualité standard que la qualité technique qui doit contenir au minimum 61 p. 100 en poids d'acide nitrique, teneur à laquelle est assortie d'autres spécifications. D'autres classes (5) sont prescrites pour la fabrication d'explosifs. Toute mention d'acide nitrique fumant renvoie donc aux spécifications ACS déjà mentionnées et toute mention d'acide nitrique blanc ou rouge fumants (WFNA et RFNA) renvoie à la désignation du Department of Defence des États-Unis.

3.7 **Principales utilisations au Canada** (Corpus, 1984)

L'acide nitrique est utilisé dans la production du nitrate d'ammonium, du phosphate et nitrate d'ammonium, d'explosifs brisants, de composés intermédiaires pour la fabrication du nylon, de pigments du plomb, de nitrates métalliques et pour l'extraction de l'uranium. En 1982, 82 p. 100 de la production canadienne étaient utilisés pour la fabrication de nitrate d'ammonium, 7 p. 100 pour la production de composés intermédiaires pour le nylon, et 5 p. 100 pour la production de phosphates et de nitrate d'ammonium.

3.8 **Principaux acheteurs au Canada** (Corpus, 1984; CBG, 1980)

A & B Chemical Products, Stoufville, Ont.
Agnew Lake Mines, Agnew Lake, Ont.
Allied Chemical Canada Ltd., Corunna, Amherstburg, Ont.;
Montréal, QC
Anachemia Chemical, St-Jérôme, QC
Arliss Chemical Inc., Mississauga, Ont.; Montréal, QC
BASF Chemical Inc., Montréal, QC
Bayer (Canada) Ltd., Montréal, QC
Benson Chemicals Ltd., Freelton, Ont.
Canada Colors & Chemicals, Don Mills, Ont.
Canadian Hanson, Toronto, Ont.
Denison Mines, Elliot Lake, Ont.
Eldorado Nuclear, Port Hope, Ont.
Hercules Canada, St-Jean, QC
International Chemical Ltd., Brampton, Ont.
M & T Chemicals Ltd., Hamilton, Ont.
Mallinckrodt, Montréal, QC
Reed, Ajax, Ont.
Rio Algom Mines, Elliot Lake, Ont.
Shefford Chemicals Ltd., Granby, QC
Uba Chemical Industries Ltd., Mississauga, Ont.
Van Waters & Rogers, Vancouver, C.-B.; Montréal, QC
Winfield Chemical Ltd., Woodstock, N.-B.

4 MANUTENTION DU PRODUIT ET COMPATIBILITÉ AVEC CERTAINS MATÉRIAUX

4.1 Citernes et autres récipients d'expédition

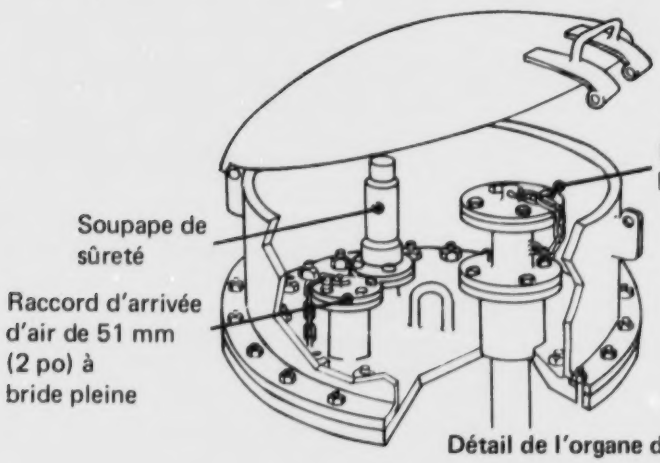
4.1.1 Transport en vrac. - Les solutions d'acide nitrique sont parfois transportées en vrac dans des wagons-citernes et des véhicules-citernes routiers de spécification précise.

4.1.1.1 Wagons-citernes. - Les wagons-citernes utilisés pour le transport de l'acide nitrique sont décrits au tableau 2. Un wagon-citerne de spécification 103CW est illustré à la figure 8 et le tableau 3 fournit les données chiffrées inhérentes. Les wagons-citernes contenant de l'acide nitrique ne doivent *jamais* être vidés par le bas. Les orifices de déchargement par le bas sont interdits sur les wagons-citernes servant au transport d'acide nitrique. Le déchargement se fait par le haut à l'aide d'une pompe ou d'air comprimé (MCA, 1961). L'acide est retiré par un tube plongeur débouchant sur la plate-forme de dôme (ou la plate-forme supérieure selon le cas) et qui se termine par un robinet de déchargement de 51 mm (2 po).

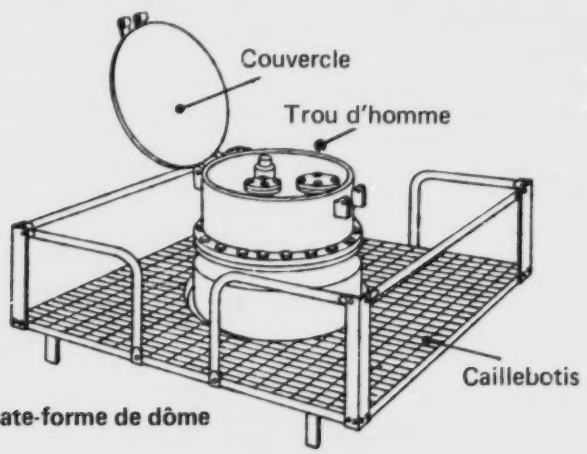
Tableau 2
Spécifications CCT/DOT s'appliquant aux wagons-citernes utilisés pour l'acide nitrique

Numéro	Description
103AALW (pour le transport d'acide nitrique titrant 80 p. 100 et plus)	Citerne en aluminium soudée par fusion, avec dôme. Isolée ou non. Creux de 1 p. 100. Organe de déchargement par le haut exigé. Organe de déchargement par le bas interdit; orifice de purge par le bas facultatif. Soupape de sûreté réglée à 242 kPa (35 lb/po^2) ou évent de sécurité réglé à 414 kPa (60 lb/po^2).
103CW (pour le transport d'acide nitrique titrant 40 p. 100 et plus)	Citerne en alliage d'acier inox, soudée par fusion, avec dôme. Isolée ou non. Creux de 1 p. 100. Organe de déchargement par le bas ou orifice de purge interdits. Organe de déchargement par le haut exigé. Soupape de sûreté réglée à 242 kPa (35 lb/po^2).
105A100ALW (pour le transport d'acide nitrique titrant 90 p. 100 et plus)	Citerne en aluminium soudée par fusion, avec trou d'homme. Isolée. Organe de déchargement par le haut exigé. Organe de déchargement par le bas ou orifice de purge interdits. Soupape de sûreté réglée à 518 kPa (75 lb/po^2).

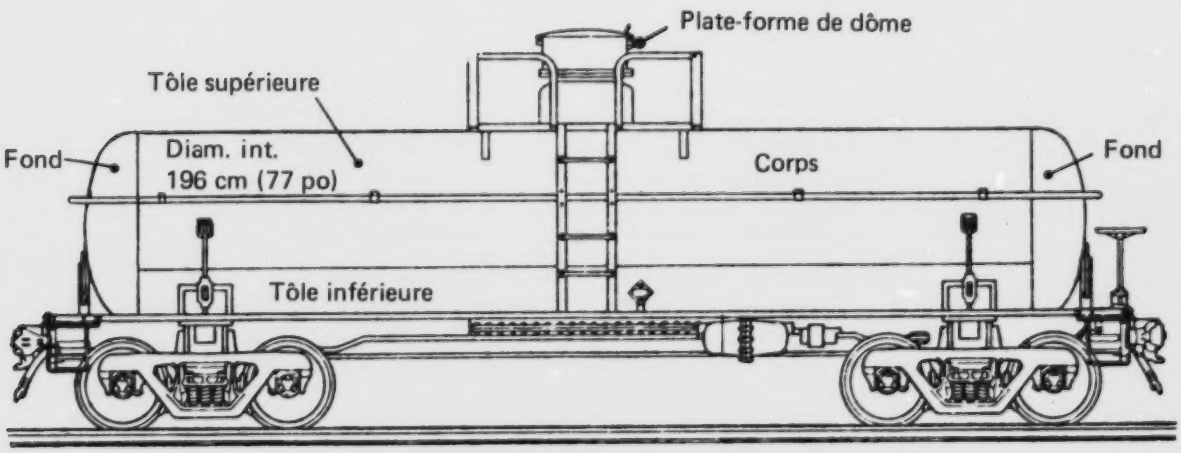
Sources: TCM, 1979; RTDCR, 1974



Détail de l'organe de vidange



Détail de la plate-forme de dôme



Principaux éléments du wagon-citerne

Tableau 3
Caractéristiques du wagon-citerne de spécification 103CW
(TCM, 1979; RTDCR, 1974)

Description	Capacité nominale de la citerne (gal imp.) 6700
Structure	
Capacité nominale	30 300 l (6700 gal)
Tare (poids à vide)	19 800 kg (43 700 lb)
Masse brute maximale	80 300 kg (177 000 lb)
Réservoir	
Matériau	Acier
Épaisseur	Tôle supérieure: 9,5 mm (3/8 po); tôle inférieure et fonds: 1,3 mm (1/2 po)
Diamètre intérieur	196 cm (77 po)
Pression d'épreuve	414 kPa (60 psi)
Pression d'éclatement	1660 kPa (240 psi)
Dimensions approximatives	
Longueur avec organes d'attelage	12,1 m (39 pi 9 1/2 po)
Longueur avec pylônes de choc	11,3 m (37 pi 2 po)
Distance entre pivots de bogie	8,0 m (26 pi 2 1/2 po)
Hauteur jusqu'au sommet du caillebotis	3,2 m (10 pi 7 1/2 po)
Hauteur hors-tout	4,3 m (13 pi 11 5/8 po)
Largeur hors-tout (avec poignées)	3,1 m (10 pi 2 po)
Longueur du caillebotis	2,0 m (6 pi 8 1/2 po)
Largeur du caillebotis	1,6 m (3 pi 2 1/8 po)
Déchargement par le haut	
Raccord de déchargement	À bride pleine, 51 mm (2 po)
Orifice de remplissage/ trou d'homme	Pas particulier à ce type de wagon
Raccord d'arrivée d'air	À bride pleine, 51 mm (2 po)
Déchargement par le bas	
Organe de déchargement par le bas	Interdit
Dispositifs de sécurité	Soupape de sûreté réglée à 241 kPa (35 psi)
Dôme	Requis; creux de 1 p. 100
Isolation	Facultative

4.1.1.2 Véhicules-citernes routiers. - L'acide nitrique est transporté dans des véhicules-citernes d'une capacité variant de 14 à 27 tonnes (PC, 1982). Comme les wagons-citernes,

ils sont déchargés par le haut au moyen d'un tube plongeur débouchant généralement à l'arrière de la citerne. La vidange se fait avec de l'air comprimé ou par pompage. Le dispositif d'admission d'air est généralement constitué d'un raccord de branchement de 25 mm (1 po) à filetage mâle, situé au sommet de la remorque et qui permet d'appliquer une pression ne dépassant pas 207 kPa (30 lb/po^2) (PC, 1982).

Les véhicules-citernes utilisés pour le transport d'acide nitrique doivent être conformes à la spécification TC312 régissant les véhicules de classe MC310, MC311 et MC312 et décrite au tableau 4 (TDGC, 1980). Les solutions d'acide nitrique ne sont pas transportées dans des récipients sous pression. Les citernes des camions doivent avoir fait l'objet d'un essai de pression à au moins 311 kPa (45 lb/po^2), afin de s'assurer qu'elles supporteront la pression de 207 kPa (25 lb/po^2) appliquée pour le déchargement par le haut avec de l'air comprimé. La pression normale de service de la citerne est de 242 kPa (35 lb/po^2) (PC, 1982).

Tableau 4
Spécification TC s'appliquant aux véhicules-citernes routiers utilisés pour l'acide nitrique

Numéro	Description
TC312	Citerne en acier inox ou en aluminium, construite et conçue conformément au code de l'ASME lorsque le déchargement se fait à une pression supérieure à 103 kPa (15 lb/po^2). Dispositif de jaugeage non requis. Organe de déchargement par le haut ou par le bas. Chaque compartiment doit comporter au moins une soupape de décharge et un trou d'homme d'au moins 380 mm (15 po) de diamètre, répondant aux prescriptions du code de l'ASME. Orifice de purge facultatif.

4.1.2 Transport sous emballage. - En plus d'être transporté en vrac, l'acide nitrique est conditionné dans des fûts, des bonbonnes, des bouteilles et des citernes amovibles (appelées aussi portables). Ces récipients doivent être conformes aux spécifications indiquées au tableau 5 (RTDCR, 1974).

4.2 Déchargement

4.2.1 Équipement et opérations de déchargement des wagons-citernes. - Avant de procéder au déchargement, il importe de prendre les précautions suivantes (MCA, 1961):

- S'assurer que le réservoir de stockage à évent peut recevoir le contenu entier du wagon-citerne.

Tableau 5
Spécifications s'appliquant aux emballages utilisés pour l'acide nitrique

Titre	Emballage	Numéro de spécification
>40 p. 100	Fûts en acier avec revêtement intérieur	5C
>80 p. 100	Fûts en aluminium ou fûts en acier doublés d'aluminium	
<72 p. 100	Bonbonnes de verre placées dans des caisses ou des barillets	1A, 1C, 1K
	Bonbonnes de verre placées dans des caisses de contre-plaqué	1D, 1E
	Citernes amovibles en acier chemisées de verre	60
	Bouteilles de verre d'au plus 2,2 l (77 oz liq.) chacune dans une caisse en polystyrène	33a
	Bouteilles de verre placées dans une boîte en polystyrène	12R
<90 p. 100	Récipients en verre d'au plus 2,8 l (99 oz liq.) chacun placés dans des caisses en bois ou un emballage extérieur en bois en forme de fût	15A, 15B, 15C, 16A, 19A, 11A ou 11B
>90 p. 100	*Idem*	15A, 15B, 16A, 19A, 11A

- Les freins doivent être serrés et les roues, calées; les dérailleurs doivent être en place et les avertissements affichés.
- Le poste de déchargement doit être pourvu d'un quai de service offrant toutes les conditions de sécurité voulues.
- Actionner la soupape de sûreté pour détendre la pression.

Le transvasement doit s'effectuer comme suit (MCA, 1961):

- Retirer le joint à bride pleine et raccorder la conduite de déchargement de 51 mm (2 po) à l'orifice de vidange du wagon. Raccorder le tuyau à air comprimé de 51 mm (2 po). Abaisser la pression d'air à 207 kPa (35 psi) pour le déchargement. Installer sur le tuyau à air comprimé une soupape de sûreté afin de réduire la pression à 242 kPa (35 psi).
- Après avoir ouvert le robinet d'admission d'air, on peut ouvrir le robinet de déchargement du produit.

- Lorsque la citerne est vide, fermer le robinet d'admission d'air et ouvrir le robinet purgeur pour détendre la pression au niveau de la pression atmosphérique.
- Pour fermer la citerne, procéder aux mêmes opérations dans l'ordre inverse.

Si le déchargement se fait au moyen d'une pompe (procédé le plus sécuritaire), raccorder l'extrémité admission au tube plongeur. Si une pression d'air doit être appliquée pour amorcer le pompage, elle ne dépassera pas 207 kPa (30 psi) (MCA, 1961).

4.2.2 Équipement et opérations de déchargement des véhicules-citernes routiers. - Le déchargement de ces véhicules suit les mêmes procédés que décrits en 4.2.1. Ces procédés valent aussi pour le déchargement des remorques-citernes.

4.2.3 Spécifications et matériaux de fabrication de l'équipement de déchargement. - En plus des matériaux généralement utilisés pour la fabrication des éléments d'un système de déchargement et de manutention d'acide nitrique, nous indiquons dans cette section un certain nombre de matériaux pouvant convenir ou convenant dans certains cas. Il est aussi question des matériaux à utiliser pour l'acide nitrique fumant. Voir le tableau 6 pour une récapitulation. Les éléments d'un système de déchargement type mentionnés plus loin comprennent les canalisations, les raccords, les flexibles, les robinets, les joints d'étanchéité, les pompes et les réservoirs de stockage. Bien que certains des matériaux énumérés puissent être peu usités, il a été jugé préférable de présenter la liste la plus complète des matériaux énumérés dans la documentation consultée pour offrir le plus large éventail possible.

Les aciers inoxydables 316 et 316L conviennent pour les canalisations, quoique l'acier 304L comporte de légers avantages (CE, 1980c). La fonte à haute teneur en silicium (Duriron, Durichlor 51 et Superchlor) est également appropriée pour l'acide nitrique. Ces matériaux ne sont pas attaqués par l'acide nitrique à température normale, quelque soit le titre. L'acide nitrique bouillant d'un titre supérieur à 50 p. 100 n'a aucun effet sur le fer à haute teneur en silicium; par contre, les solutions diluées peuvent attaquer légèrement ce matériau (Durco, 1979). La figure 9 indique la résistance de divers alliages commercialisés sous le nom de Duriron, à l'acide nitrique de divers titres, en fonction de la température. Le fer à haute teneur en silicium est utilisé sous forme de fonte seulement et il possède une résistance limitée au choc.

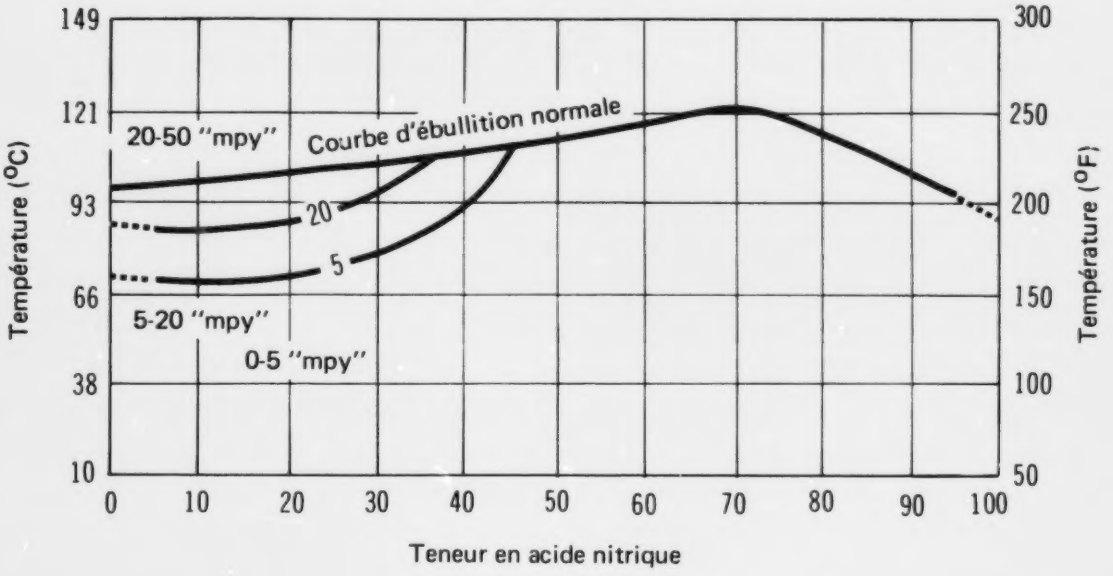
Les dimensions des canalisations et raccords utilisés pour le déchargement et la manutention de l'acide nitrique doivent bien entendu être compatibles avec celles des raccords de vidange du wagon-citerne. Les autres conduites de transvasement peuvent néanmoins être de n'importe quelle dimension, quoiqu'on déconseille que leur diamètre soit inférieur à 25 mm (1 po). Les sections extérieures doivent être du type à purge automatique.

Des joints tournants peuvent être utilisés pour les tronçons souples de la tuyauterie de transvasement. Le joint tournant à rotule ou le joint tournant à presse-étoupe donneront tous deux un bon rendement s'ils sont correctement entretenus (MWPP, 1978).

Figure 9

ACIDE NITRIQUE — **RÉSISTANCE DU DURIRON À L'ACIDE NITRIQUE**

Source: Durco, 1979



Les réservoirs d'emmagasinage sont généralement en acier pour les solutions titrant moins de 99 p. 100 et en aluminium pour les titres supérieurs. L'aluminium ne sera en aucun cas utilisé pour de l'acide nitrique titrant moins de 85 p. 100 (MCA, 1961; CE, 1980b). Le tableau 6 donne plus d'information à ce sujet.

Diverses qualités d'aluminium et d'acier inoxydable conviennent pour l'acide nitrique fumant à la température de la pièce. La plupart des autres matériaux ferreux ou non ferreux réagissent avec l'acide nitrique fumant avec libération d'oxydes d'azote. Le titane doit particulièrement être évité pour l'acide nitrique rouge fumant étant donné que le produit peut s'enflammer si la teneur en eau est inférieure à 1,5 p. 100 et celle en peroxyde d'azote, supérieure à 2,5 p. 100 (CPIA, 1970; CE, 1980b; AFRPL, 1977). Les particularités des autres métaux sont indiquées dans le tableau 6. Les autres matériaux non métalliques dont l'utilisation est approuvée pour les acides fumants sont: Kel-F-81, Halon TFE et Resin X Epoxy, et les lubrifiants Nordcoseal-147-5, Fluorolube ainsi que les perfluorocarbures (CPIA, 1970).

Les canalisations et les raccords utilisés avec les acides nitriques fumants doivent être faits de matériaux approuvés, c.-à-d. aluminium ou acier inoxydable par exemple, et testés à la pression nominale. Ils seront installés par soudage. Les robinets à boisseau donnent de bons résultats; par contre, les robinets-vannes sont à déconseiller. Les robinets doivent être fabriqués avec des matériaux approuvés. Les matériaux recommandés pour les joints d'étanchéité sont le tétrafluoroéthylène (Halon TFE ou Téflon) en feuilles, le Kel-F (polymère de chlorotrifluoroéthylène), l'aluminium (de qualité approuvée), l'amiante recouvert de téflon (enveloppe) ou des feuilles d'aluminium ondulées dont les creux sont remplis d'amiante (*remarque*: les matériaux à base d'amiante doivent être utilisés avec prudence). Pour le pompage, on utilisera une pompe centrifuge ou volumétrique fabriquée avec un matériau approuvé. Le joint d'étanchéité de l'arbre sera soit un joint mécanique fait d'un matériau résistant à l'acide fumant, soit un presse-étoupe en amiante bleu tressé imprégné d'un lubrifiant approuvé. Pour le service des acides, les flexibles doivent être en fils d'acier inoxydable souple tressés avec garniture intérieure en soufflet en TFE ou en acier inoxydable. Les réservoirs d'emmagasinage doivent être soudés et les soudures auront subi un traitement thermique de relaxation des contraintes (ou recuit de détente). Les réservoirs d'emmagasinage utilisés pour l'acide nitrique sont généralement horizontaux et fabriqués en aluminium. Avec l'acier inoxydable, il y a risque de corrosion aux points de soudure en raison de la précipitation de carbures au cours du soudage. Le recuit de détente réduira considérablement ce risque. Les manuels fournis par les fabricants fournissent des détails précis sur la manutention des équipements de remplissage et de vidange, la conception des équipements et des installations (CPIA, 1970). Le présent guide ne fournit que des considérations générales applicables en cas d'urgence.

4.3 Compatibilité entre le produit et certains matériaux

La compatibilité entre l'acide nitrique et certains matériaux de fabrication est indiquée au tableau 6. Les abréviations qui ne sont pas entre parenthèses sont expliquées au tableau 7. Voici une brève définition des termes utilisés pour évaluer les matériaux.

Recommandé: Le matériau donnera un rendement satisfaisant pour l'utilisation indiquée.

Avec réserves: Le matériau montrera des signes de détérioration pour l'utilisation indiquée; il peut convenir pour une utilisation intermittente ou de courte durée.

Déconseillé: Le matériau se détériorera rapidement et son emploi est donc déconseillé.

Tableau 6
Compatibilité entre l'acide nitrique et certains matériaux de fabrication

Utilisation	Titre	Temp. (°C)	Recommandé	Réserves	Déconseillé
1. **Conduites et raccords**	5 - 50 %	21 au point d'ébullition	Acier inox 304, 304L, 316, 316L (SFC, 1982; 6AC)		
	<10 %	24	ABS (MWPP, 1978)	Inconel (SFC, 1982)	Monel (SFC, 1982)
		Jusqu'à la limite de résistance du matériau	PVC I, polyéthylène (MWPP, 1978)		
	10 %	66	PVDC (DCRG, 1978)		
		79	Polyéther chloré, polypropylène (DCRG, 1978)		
		93	PVDF (DCRG, 1978)		
	Jusqu'à 20 %	≤66	Duriron (Durco, 1979)		
	20 %	23	PVC I (DPPED, 1967)	PVC II (DPPED, 1967)	ABS (DPPED, 1967)
		49	Polyéthylène (DPPED, 1967)		
		60			PVC I PVC II (DPPED, 1967)
	30 %	52	Polypropylène (CE, 1980b)		
	40 %	60	PVC (CE, 1980b)		
	>45 %	>71	Fer à haute teneur en silicium (CE, 1980b)		
	<50 %	Jusqu'à la limite de résistance du matériau	PVC I Polyéthylène (MWPP, 1978)		ABS (MWPP, 1978)

Utilisation	Titre	Temp. (°C)	Recommandé	Réserves	Déconseillé
1. **(suite)**	50 %	24	Polyéther chloré (DCRG, 1978)		
		52	PVDC (DCRG, 1978)		
		66	Polypropylène (DCRG, 1978)		
		79	PVDF (DCRG, 1978)		
	>50 %	Point d'ébullition	Duriron, Durichlor 51 Superchlor (Durco, 1979)		
	60 %	23	PVC I (DPPED, 1967)	PVC II (DPPED, 1967)	
		25	Polypropylène PVC (CE, 1980b)		
		60			PVC I, PVC II (DPPED, 1967)
	65 %	Point d'ébullition	Acier inox 304, 316 (GAC) Nitronic 50		
	68 %	23		PVC I (DPPED, 1967)	PVC II (DPPED, 1967)
		60			PVC I, PVC II (DPPED, 1967)
	70 %	24	Polyéther chloré, polypropylène, PVDC (DCRG, 1978) Polyéthylène (MWPP, 1978)		
		Jusqu'à la limite de résistance du matériau	PVC I* (MWPP, 1978) ABS (MWPP, 1978)		

Utilisation	Titre	Temp. (°C)	Recommandé	Réserves	Déconseillé
1. (suite)	Conc.	21	Acier inox 304, 304L, 321, 347, 316, 316L Inconel (SFC) 1982)		Nickel, Monel (SFC, 1982)
		Point d'ébullition			Acier inox 304, 304L, 321, 347, 316, 316L, Nickel, Monel, Inconel (SFC, 1982)
		Jusqu'au point d'ébullition ou la limite de résistance du matériau	TFE, FEP (CE, 1980b)		Résine furannique, résine phénolique, résine époxyde, caoutchouc naturel dur (CE, 1980b)
	Tous	Temp. de la pièce	Duriron, Durichlor 51 Superchlor (Durco, 1979)		
	Fumant	-	Duriron Durichlor 51 Superchlor (Durco, 1979)		
2. Robinet-terie	Tous	21	Alliage 20 Acier inox 316 (JSSV, 1979)		
	5 - 70 %		Cer-Vit (Schott)		
	Jusqu'à 65 %	Point d'ébullition	Acier inox 316 (JSSV, 1979)		
	Conc.	Point d'ébullition	Alliage 20 (CE, 1983b)		
3. Pompes	20 %	49	GRP avec joint torique en FPM		

Utilisation	Titre	Temp. (°C)	Recommandé	Réserves	Déconseillé
3. (suite)	Conc.	Point d'ébullition	Acier inox 416 Fonte à haute teneur en silicium (HIS, 1969) TFE (CE, 1980b)		
	Dilué		Acier inox 410 Acier inox 446		
	5 - 50 %	Point d'ébullition	Acier inox 304 Acier inox 316 (GAC)[1]		
	Jusqu'à 20 %	≤66	Fonte à haute teneur en silicium (Durco, 1979)		
	>45 %	>71	Fonte (HIS, 1969; CE, 1980b)		
4. Réservoirs d'emmagasinage	60,4		Acier inox (Du Pont MSDS, 1980)		
	≤99		Acier inox (MCA, 1961)		
	>99		Aluminium (MCA, 1961)		
	>95 ou <85 %		Aluminium 3003, 5052 (CE, 1980b)		
	Fumant, blanc et rouge	27	Aluminium 1060, 1100, 3003, 3004, 6061, 5052, 5154, Acier inox 301, 302, 303, 304, 309, 310, 316, 318, 321, 322, 347		

Utilisation	Titre	Temp. (°C)	Recommandé	Réserves	Déconseillé
4. (suite)			Durimet 20 (AFRPL, 1977; PIA, 1970)		
	Fumant blanc et rouge	49			Acier inox 316 (AFRPL, 1977)
5. Autres	5 %	20	Acier inox 302, 321, 347 (SFC, 1982) (Acier inox 410, 430 (ASS))		
	5 %	25	Tantale (Ta), niobium (Nb), zirconium (Zr) Titane (Ti) Hastelloy C-276 Alliage 20 (CE, 1983b)		Hastelloy B-2, Monel 400 (CE, 1983b)
	10 %	60	PVC (TPS, 1978)		
		21	Caoutchouc fluoré (Viton) (CE, 1980a)	Butyle, polyéthylène chlorosulfoné (Hypalon), Gatron (CE, 1980a)	Caoutchouc naturel, polychloroprène (Néoprène) NBR, Tufflex, polyélastomères, nylon, laiton, acier au carbone ou fer (CE, 1980a)
	10 %	82	Polypropylène (TPS, 1978)	Silicium (GPP)	SBR (GPP)
		85	CPVC (TPS, 1978) Graphite (CE, 1980b)		
	10 à 20 - 40 à 69,5 %	35	Zirconium, titane, titane-palladium (AMC)		
		100	Titane, zirconium, tantale, titane-palladium (AMC)		

Utilisation	Titre	Temp. (°C)	Recommandé	Réserves	Déconseillé
5. (suite)	20 %	60	Graphite imperméable (CE, 1980b)		
	20 % (aéré)	290		Titane (AMC)	
	25 %	21	Caoutchouc fluoré (Viton) (CE, 1980a)	Caoutchouc naturel, butyle, polyéthylène chlorosulfoné (Hypalon) Gatron, acier inox 304, 316 (CE, 1980a)	Caoutchouc naturel, NBR + plastique, tissu en NBR, Tufflex, épichlorhydrine, élastomère de polyester, nylon, acier au carbone ou fer, laiton (CE, 1980a)
	10 à 30 %	35	Titane, zirconium (AMC)		
	Jusqu'à 30 %	50	uPVC, polyéthylène, polypropylène, butyle, EPDM, FMP, polyéthylène chlorosulfoné (Hypalon) (GF)	Polychloroprène (Viton) (GF)	POM, caoutchouc naturel, NBR (GF)
	40 %	21	FPM (CE, 1980a)	Gatron Acier inox 304, 316 (CE, 1980a)	Caoutchouc naturel, butyle, EPDM, CSM, polychloroprène, NBR, NBR + plastique, tissu en NBR, Tufflex, épichlorhydrine, élastomère de polyester, nylon, laiton, acier au carbone ou fer (CE, 1980a)
		200	Zirconium (AMC)	Titane (AMC)	
	48 %	80		Polychloroprène (Néoprène) FMP (GF)	uPVC, polyéthylène, POM, caoutchouc naturel, NBR, butyle, EPDM, polyéthylène chlorosulfoné (Hypalon) (GF)
	5 à 50 %	21 au point d'ébullition			Titane, palladium (SFC, 1982)

Utilisation	Titre	Temp. (°C)	Recommandé	Réserves	Déconseillé
5. (suite)	50 %	21	Acier inox 302, 410, 430 (ASS)		
		22	PVC CPVC (TPS, 1978)		
		23	Polypropylène (TPS, 1978)		
		49			Polypropylène (TPS, 1978)
		85			CPVC (TPS, 1978)
	60 %	21		Gatron, FPM, acier inox 304, 316 (CE, 1980a)	Caoutchouc naturel, butyle, polyéthylène chlorosulfoné (Hypalon), polychloroprène (Néoprène), NBR, Tufflex, épichlorhydrine, élastomère de polyester, nylon, acier au carbone, (CE, 1980a)
	65 %	Point d'ébullition	Acier inox 316L, 317, 317L (Armco, 1981b)	Acier inox 302, 430 (ASS)	Acier inox 410 (ASS)
		66	Alliage 12 Alliage 21 (CE, 1983a)		Alliage 6 Alliage 50 Alliage 60 Alliage 1 Ni-17, Cr-17 Mo-6, Fe-5W (CE, 1983a)
	65 % (aéré)	175	Titane, zirconium, titane-palladium (AMC)		
	Conc.	Jusqu'à la limite de la température		Carbone imprégné de furanne ou de composés phénoliques (CE, 1980b)	

Utilisation	Titre	Temp. (°C)	Recommandé	Réserves	Déconseillé
5. (suite)		<65		Alliage C (CE, 1980b)	
		⩽ Point d'ébullition	Verre/silicates (CE, 1980b)		
		Point d'ébullition	Tantale, zirconium, niobium, titane, alliage 20 (CE, 1983b)		Hastelloy C-276, B-2, acier inox 316 (CE, 1983b)
	5 à 69,5 %	100	Titane, zirconium, (AMC)		
	70 %	22	PVC, CPVC (TPS, 1978)		
		23		Polypropylène (TPS, 1978)	
		49			Polypropylène (TPS, 1978)
		60	PVC (TPS, 1978)	uPVC Polychloroprène* (GF)	Polyéthylène, polypropylène, POM, caoutchouc naturel, NBR, butyle, EPDM, FPM, polyéthylène chlorosulfoné (Hypalon) (GF)
		85	Polyéthylène chlorosulfoné* (GPP)		CPVC (TPS, 1978) SBR, polychloroprène (Hypalon) silicium (GPP)
	10 à 70 %	24 à 204	Verre (CDS, 1967)		
	80 à 100 %	24 à 100	Verre (CDS, 1967)		
	90 à 98 %	25	Cer-Vit (Schott)		
	>95 % (en général pas plus que 85 %)	-	Aluminium 3003, 5052		

Utilisation	Titre	Temp. (°C)	Recommandé	Réserves	Déconseillé
5. (suite)	98 % (non aéré)	27	Titane, zirconium (AMC)		
	98 % (non aéré)		Temp. de la pièce	Titane (AMC)	
	100 %	52	PVDF (CE, 1980b)		
		Jusqu'à la limite de température du matériau	FEP, TFE (CE, 1980b)		
	10 à 100 %	24			Ciment (CDS, 1967)
	10 à 30 %	24			Bois (CDS, 1967)
	Acide fumant blanc (liquide ou vapeurs)	Temp. de la pièce	Titane (AMC)		
	Acide fumant blanc (90 %)	82		Titane (AMC)	
	Acide fumant blanc	122		Titane (AMC)	
		160		Titane (AMC)	
	Acide fumant rouge	Temp. de la pièce			Titane (AMC)[1]
		21		FMP, acier inox 304, 316, A1 (CE, 1980a)	Caoutchouc naturel, butyle, EPDM, polyéthylène chlorosulfoné (Hypalon) polychloroprène (Néoprène) NBR, NBR + plastique, boues de NBR, Tufflex, Gatron, épichlorhydrine, élastomère de polyester, nylon, acier au carbone ou fer, laiton (CE, 1980a)

Utilisation	Titre	Temp. (°C)	Recommandé	Réserves	Déconseillé
5. (suite)		23,9	Fonte (AFRPL, 1977) Duriron Ni-resist, Hastelloy-C	Acier doux (AFRPL, 1977)	Hastelloy-B, Monel (AFRPL, 1977)
		23,9-54		Inconel (AFRPL, 1977)	
		27	Alliage 20, Durimet, chrome, or (AFRPL, 1977)		
		49			Acier inox 316 (AFRPL, 1977)
	Acide fumant rouge	149	Platine (AFRPL, 1977)		

* Une cote inférieure lui a été attribuée pour la même utilisation dans une autre publication.

1. Peut s'enflammer si la teneur en eau est inférieure à 1,5 p. 100 et celle en peroxyde d'azote supérieure à 2,5 p. 100 (CE, 1980b).

Tableau 7
Abréviations normalisées des noms de matériaux de fabrication et composition des alliages

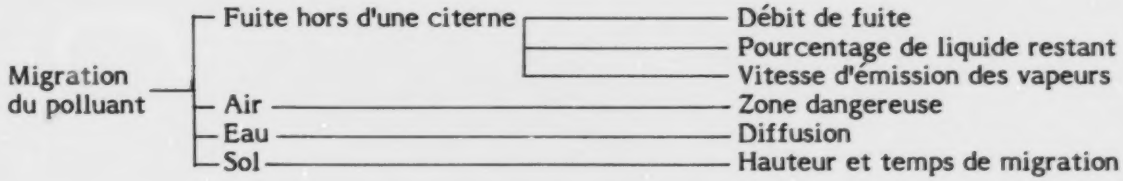
Abréviation/ alliage	Matériau de fabrication ou composition de l'alliage
ABS	Plastique à base d'acrylonitrile-butadiène-styrène
Alliage C	Nickel-chrome-molybdène
Alliage 1	À base de cobalt
Alliage 6	À base de cobalt
Alliage 12	À base de cobalt
Alliage 20	Acier inox à teneur élevée en nickel
Alliage 21	À base de cobalt
Alliage 50	À base de nickel
Alliage 60	À base de nickel
Cer-Vit	Verre/céramique
CPVC	Polychlorure de vinyle chloré
CSM	Polyéthylène chlorosulfoné (Hypalon)
EPDM	Terpolymère d'éthylène-propylène-diène
FEP	Éthylène-propylène fluoré
FPM	Caoutchouc fluoré (Viton)
GRP	Ester vinylique renforcé de fibre de verre
Hastelloy B-2	Nickel-cuivre
C-276	Nickel-chrome-molybdène
NBR	Butadiène-acrylonitrile (Nitrile, Buna-N)
POM	Polyoxyméthylène
PVC	Polychlorure de vinyle
PVDC	Polychlorure de vinylidène (Saran)
PVDF	Polyfluorure de vinylidène
SBR	Butadiène-styrène
TFE	Téflon
uPVC	Polychlorure de vinyle non plastifié

5 FUITE ET MIGRATION DU PRODUIT

5.1 Aperçu général

En cas de déversement d'acide nitrique, il y a dégagement de vapeurs dans l'atmosphère. L'acide nitrique est plus dense que l'eau et il est miscible à l'eau, si bien qu'il s'enfonce et se mélange, avec production de vapeurs. Déversé sur le sol, le liquide s'étale puis pénètre dans le sol à une vitesse qui varie selon le type de sol et son degré de saturation en eau. La migration du polluant vers la nappe phréatique constitue une menace pour l'environnement.

Voici les facteurs à prendre en considération lorsqu'il y a migration d'acide nitrique dans l'eau ou dans le sol:



À cause du caractère approximatif des calculs dans le domaine de la migration des polluants, la méthode adoptée consiste à utiliser des estimations prudentes des paramètres critiques dans le but d'établir des prévisions qui reflètent le plus fidèlement possible les pires scénarios. En suivant cette méthode, il se peut que l'on doive poser des hypothèses différentes pour chaque milieu. Cette méthode permet donc de comparer le comportement de différents produits chimiques selon les pires scénarios à partir d'hypothèses compatibles avec chaque milieu.

5.2 Fuite du produit

5.2.1 Introduction. - L'acide nitrique est parfois transporté à l'état liquide dans des wagons-citernes, à la pression atmosphérique. La capacité des wagons-citernes varie énormément. Pour le transport de l'acide nitrique, on utilise surtout des citernes de 30 300 litres. Pour établir les nomogrammes de fuite présentés dans la collection Enviroguide, nous avons retenu pour fins d'uniformité une citerne d'une capacité de 80 000 l approx., mesurant 2,75 m de diamètre et 13,4 m de longueur. Les nomogrammes qui suivent ont donc été établis d'après ce modèle.

Si la tôle inférieure d'une citerne remplie d'acide nitrique est perforée, tout le liquide s'écoulera sous l'action de la pesanteur. Grâce aux nomogrammes, on pourra calculer la quantité de liquide restant dans la citerne ainsi que le débit de fuite du liquide, à mesure que le temps s'écoulera. Comme les citernes ne sont pas sous pression et comme le produit est peu

volatil, aucun nomogramme n'a été élaboré sur la fuite de vapeurs par un orifice qui serait situé au-dessus du niveau du liquide.

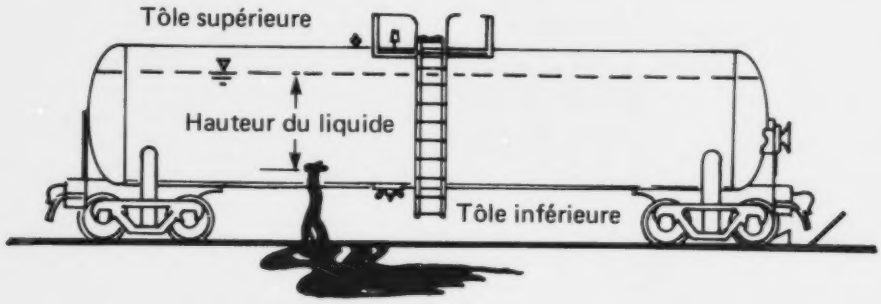


Figure 10 PERFORATION AU-DESSOUS DU NIVEAU DU LIQUIDE

5.2.2 Nomogrammes de la fuite

5.2.2.1 Pourcentage de liquide restant en fonction du temps écoulé. - La figure 11 permet d'évaluer le pourcentage de liquide restant dans le wagon-citerne type à tout moment après la perforation, selon le diamètre de l'orifice. Ce diamètre est en fait un diamètre équivalent et vaut pour des orifices de toutes formes.

On suppose que la citerne est pleine au moment de la perforation et qu'elle contient environ 80 000 l d'acide nitrique. La quantité restant en tout moment n'est pas seulement une fonction du débit selon le temps, mais aussi de la taille et de la forme de la citerne.

5.2.2.2 Débit de fuite en fonction du temps écoulé. - La figure 12 permet d'évaluer à tout instant le débit de fuite après un temps t écoulé donné, en fonction de diamètres équivalents donnés. Le nomogramme ne vaut que pour un wagon-citerne dont le contenu initial est de 80 000 litres. On obtient une approximation du pire scénario si les calculs sont appliqués à une citerne de 30 300 l.

5.2.3 Exemples de calcul

PROBLÈME A

Il y a eu perforation d'un wagon-citerne type rempli d'acide nitrique. L'orifice est situé dans la tôle inférieure de la citerne. Son diamètre équivalent est de 150 mm. Quel pourcentage du volume initial de 80 000 l représente le volume de liquide restant après 10 minutes? Solution (voir figure 11): si t = 10 mn et D = 150 mm, le volume de liquide restant représente 36 p. 100 (soit 28 800 l) du volume initial.

Figure 11

ACIDE NITRIQUE (42 °Bé)

POURCENTAGE DE LIQUIDE RESTANT EN FONCTION DU TEMPS ÉCOULÉ

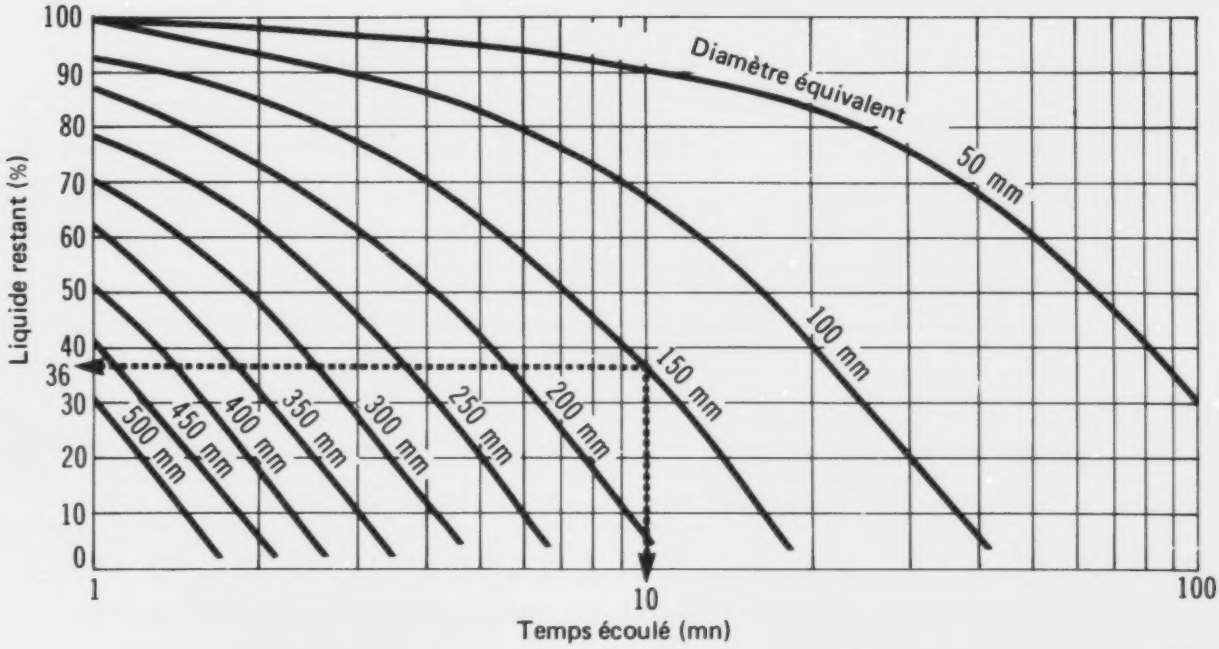
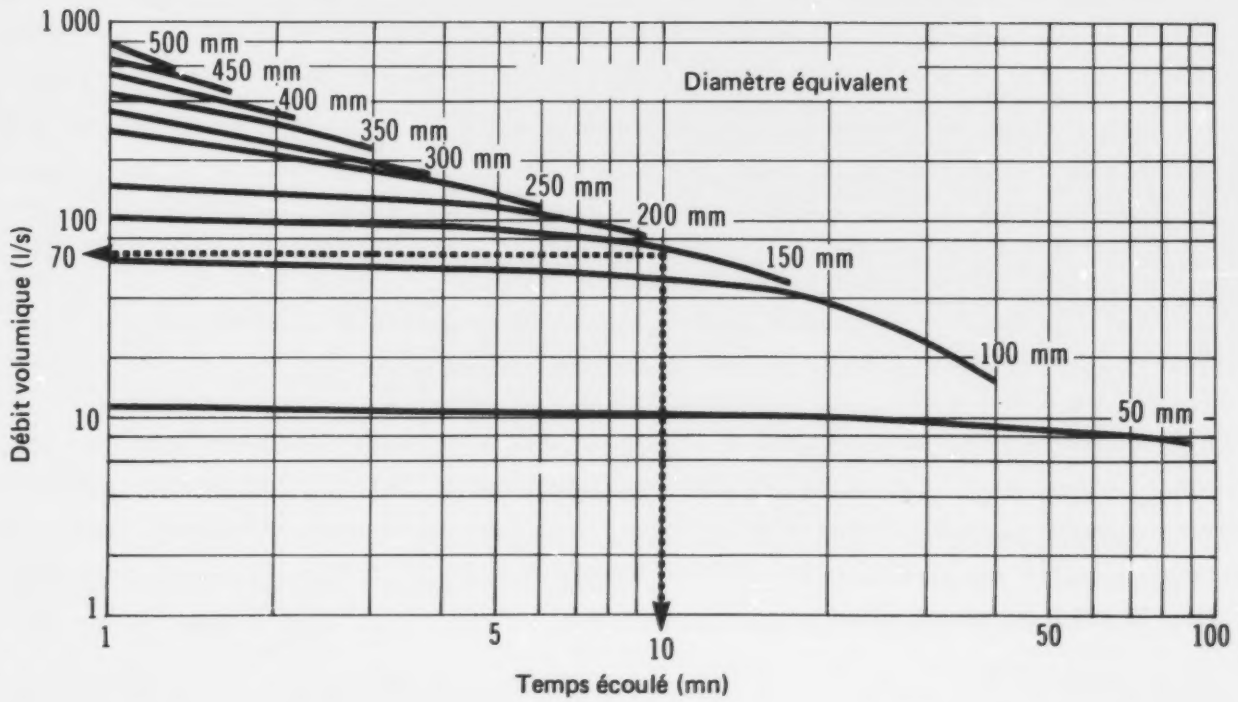


Figure 12

ACIDE NITRIQUE (42 °Bé)

DÉBIT DE FUITE VOLUMIQUE EN FONCTION DU TEMPS ÉCOULÉ



PROBLÈME B

Les données du problème B étant les mêmes que celles du problème A, quel est le débit instantané 10 minutes après la perforation? Solution (voir figure 12): si t = 10 mn et D = 150 mm, le débit instantané q = 70 l/s.

5.3 Diffusion dans l'atmosphère

5.3.1 Introduction. - Comme l'acide nitrique est relativement peu volatil, une fuite de vapeurs dans l'atmosphère à partir d'un orifice dans la paroi d'une citerne ne présente aucun danger important du côté sous le vent. Il ne sera question dans le présent ouvrage que des vapeurs émises par une nappe de liquide répandu sur le sol ou à la surface de l'eau.

Pour évaluer les teneurs en polluant du côté sous le vent par rapport au lieu de l'accident et déterminer la zone dangereuse sur le plan de la toxicité ou de l'inflammabilité, il faut modéliser le transport et la diffusion (turbulente) des vapeurs dans l'atmosphère. Les modèles utilisés supposent une répartition gaussienne des teneurs au sein du panache; ce sont les plus répandus pour la prévision des teneurs en polluants. (Le lecteur trouvera de plus amples renseignements à ce sujet dans le *Manuel d'introduction Enviroguide.*)

La figure 13 schématise la diffusion d'un panache polluant émis en continu par une aire source. Le modèle de diffusion assimile l'aire source, soit la nappe de liquide, à un point source théorique (possédant le même débit d'émission de vapeurs q), situé en amont, à une distance équivalant à dix fois le rayon de la nappe.

Nous avons dans le cas présent supposé que les vapeurs émises d'une nappe d'acide nitrique (approx. 70 p. 100 en poids) étaient composées uniquement d'acide nitrique. Leur composition est influencée par des facteurs comme la température ambiante, l'humidité relative et les matériaux ou substances avec lesquels l'acide entre en contact. Elles peuvent par conséquent être constituées d'acide nitrique et de divers oxydes d'azote, NO_2 en particulier (Sax, 1981). L'acide nitrique ayant une TLV® inférieure à celle du NO_2, par exemple, on obtiendra une estimation prudente en présumant que le panache est constitué de vapeurs d'acide nitrique uniquement.

5.3.2 Nomogrammes de la diffusion du panache de vapeurs. - Les nomogrammes de la diffusion atmosphérique du panache servent à déterminer la zone dangereuse sur le plan de la toxicité et de l'inflammabilité. Les nomogrammes, figures et tableaux présentés ci-dessous apparaissent dans l'ordre dans lequel ils doivent être utilisés, comme le lecteur pourra s'en rendre compte dans les pages qui suivent.

Figure 15 Débit d'émission des vapeurs se dégageant d'une nappe de liquide, calculé en fonction du rayon maximal de la nappe

Tableau 8 Catégories météorologiques (de stabilité)

Figure 13

ACIDE NITRIQUE — **FORMATION D'UN PANACHE DE VAPEURS**

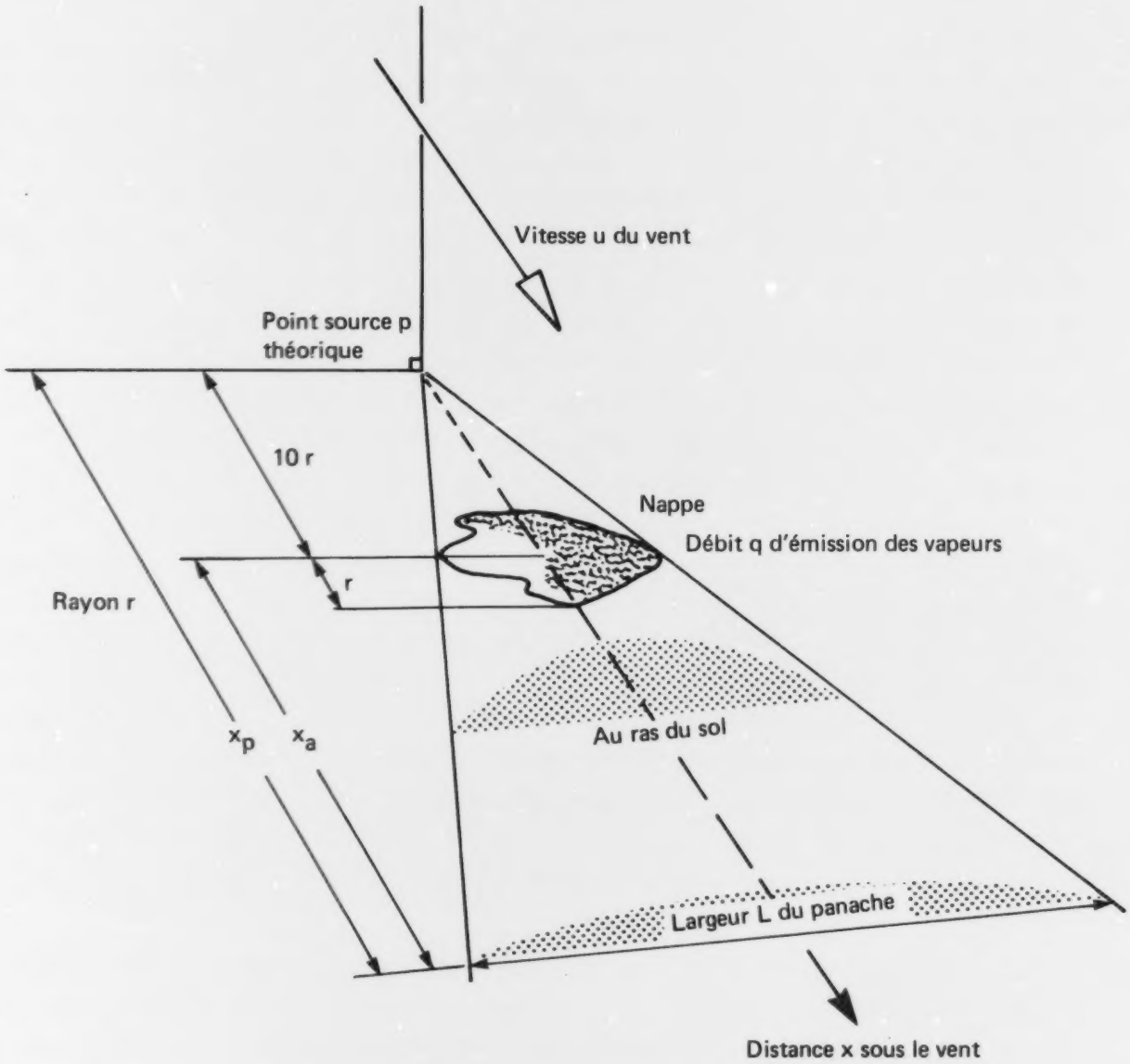


Figure 16 Teneur uniformisée en vapeurs, calculée en fonction d'une distance donnée sous le vent et pour différentes catégories météorologiques

Tableau 9 Demi-largeur maximale du panache dangereux

Figure 18 Distance parcourue par le panache, calculée en fonction du temps écoulé depuis le déversement et pour différentes vitesses de vent

La figure 17 indique les étapes à suivre dans le calcul de la diffusion des vapeurs et dans le choix des nomogrammes et des tableaux à utiliser. En fait, ce sont les étapes encadrées par un pointillé qui servent dans la présente section. (Les données relatives au volume total de liquide déversé figurent à la section 5.2.) Le lecteur trouvera dans les paragraphes qui suivent l'information relative à chacun des nomogrammes de la diffusion et à son utilisation.

5.3.2.1 Débit d'émission des vapeurs en fonction du rayon de la nappe et de la température. - Le *Manuel d'introduction Enviroguide* fournit des équations sur la vitesse d'évaporation permettant de calculer la vitesse d'évaporation propre à l'acide nitrique en solution titrant 40 p. 100 en poids. À une température de 20 °C et sous un vent de 4,5 m/s (16,1 km/h), cette vitesse est de 0,069 g/(m^2s). D'autres vitesses ont été calculées à l'aide d'une équation qui, pour un vent donné, tient compte de la température ambiante et de la tension de vapeur de la solution (Perry, 1973) à cette température. Ainsi, pour un vent dont la vitesse est de 4,5 m/s, la vitesse d'évaporation est de 0,02 g/(m^2s) à 0 °C, alors qu'elle est de 0,12 g/(m^2s) à 30 °C. Il faut remarquer que dans le cas d'un déversement réel, l'émission de vapeurs d'acide nitrique par la nappe de liquide déversé abaisse la teneur en acide nitrique de la phase liquide et, avec le temps, sa vitesse d'évaporation. L'utilisation de la valeur de la teneur initiale en acide nitrique représente donc le pire cas possible.

UTILISATION DU NOMOGRAMME

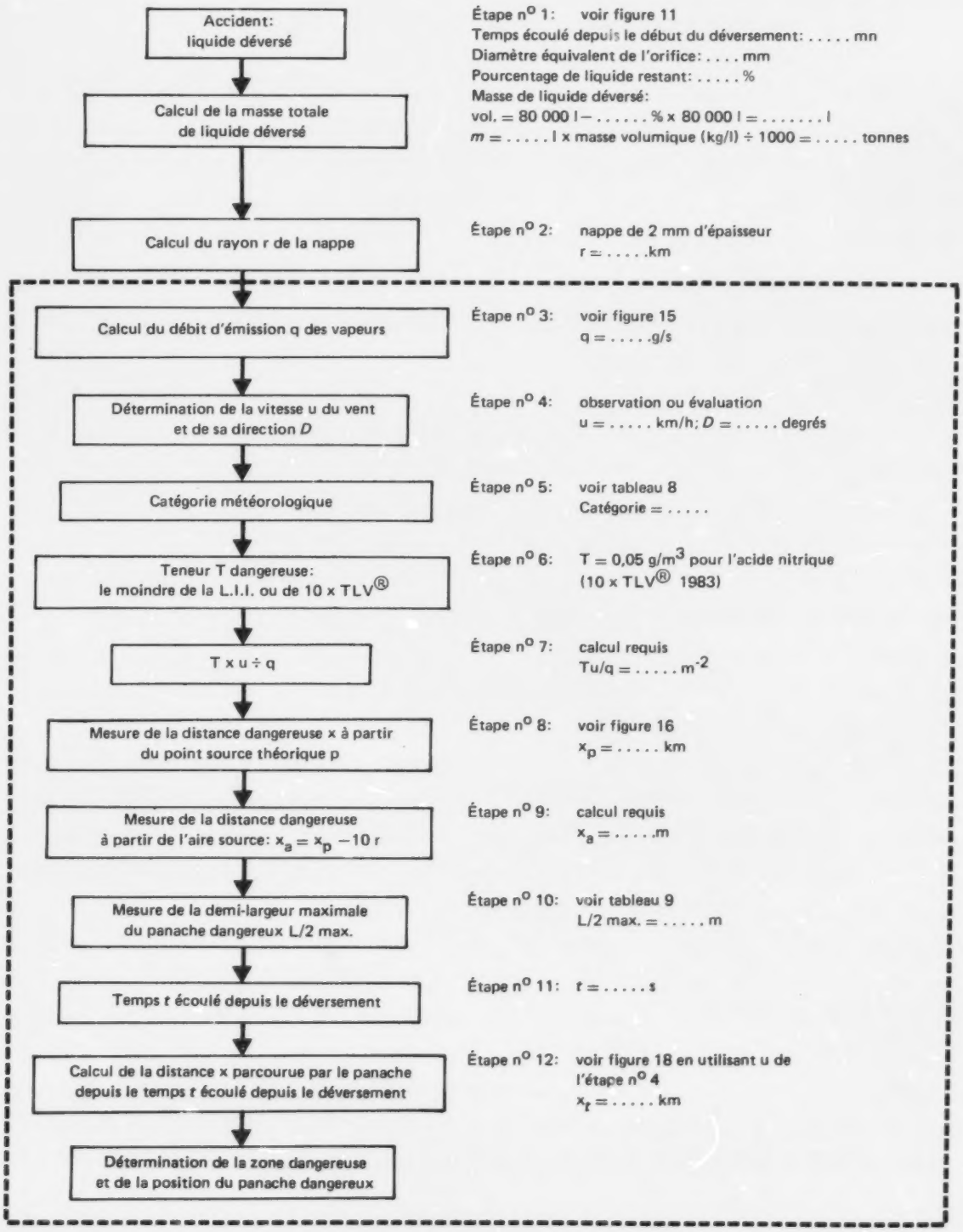
Pour une nappe de rayon connu, le débit q d'émission des vapeurs dans l'atmosphère à une température donnée peut être évalué à l'aide de la figure 15. Les segments continus des droites représentent des quantités déversées allant de 0,05 à 112 tonnes, ce dernier chiffre correspondant à peu près au volume de 80 000 litres contenu dans un wagon-citerne type chargé d'acide nitrique. Le lecteur notera que la figure 15 vaut pour une vitesse du vent de 4,5 m/s (16,1 km/h); elle ne permet donc qu'une évaluation approximative du débit d'émission pour toute autre vitesse du vent. En revanche, le *Manuel d'introduction Enviroguide* fournit l'équation qui permet d'établir la vitesse d'évaporation pour une vitesse de vent donnée à partir de la valeur pour une vitesse de 4,5 m/s.

Le calcul du débit d'émission est basé sur le rayon d'une nappe à la surface d'un plan d'eau (étendue d'eau calme) (tableau VI, CHRIS, 1974). Le rayon choisi est à mi-chemin entre celui du benzène (liquide modérément volatil) et celui du nitrite d'iso-amyle (liquide non volatil). Ce

Figure 14

ACIDE NITRIQUE

ÉTAPES À SUIVRE POUR DÉTERMINER LA ZONE DANGEREUSE



Étape n° 1: voir figure 11
Temps écoulé depuis le début du déversement: . . . . . mn
Diamètre équivalent de l'orifice: . . . . mm
Pourcentage de liquide restant: . . . . . %
Masse de liquide déversé:
vol. = 80 000 l – . . . . . % x 80 000 l = ... l
m = ... l x masse volumique (kg/l) ÷ 1000 = ... tonnes

Étape n° 2: nappe de 2 mm d'épaisseur
r = ...km

Étape n° 3: voir figure 15
q = ...g/s

Étape n° 4: observation ou évaluation
u = ... km/h; *D* = ... degrés

Étape n° 5: voir tableau 8
Catégorie = ...

Étape n° 6: T = 0,05 g/m^3 pour l'acide nitrique (10 x TLV® 1983)

Étape n° 7: calcul requis
Tu/q = ... m^{-2}

Étape n° 8: voir figure 16
x_p = ... km

Étape n° 9: calcul requis
x_a = ...m

Étape n° 10: voir tableau 9
L/2 max. = ... m

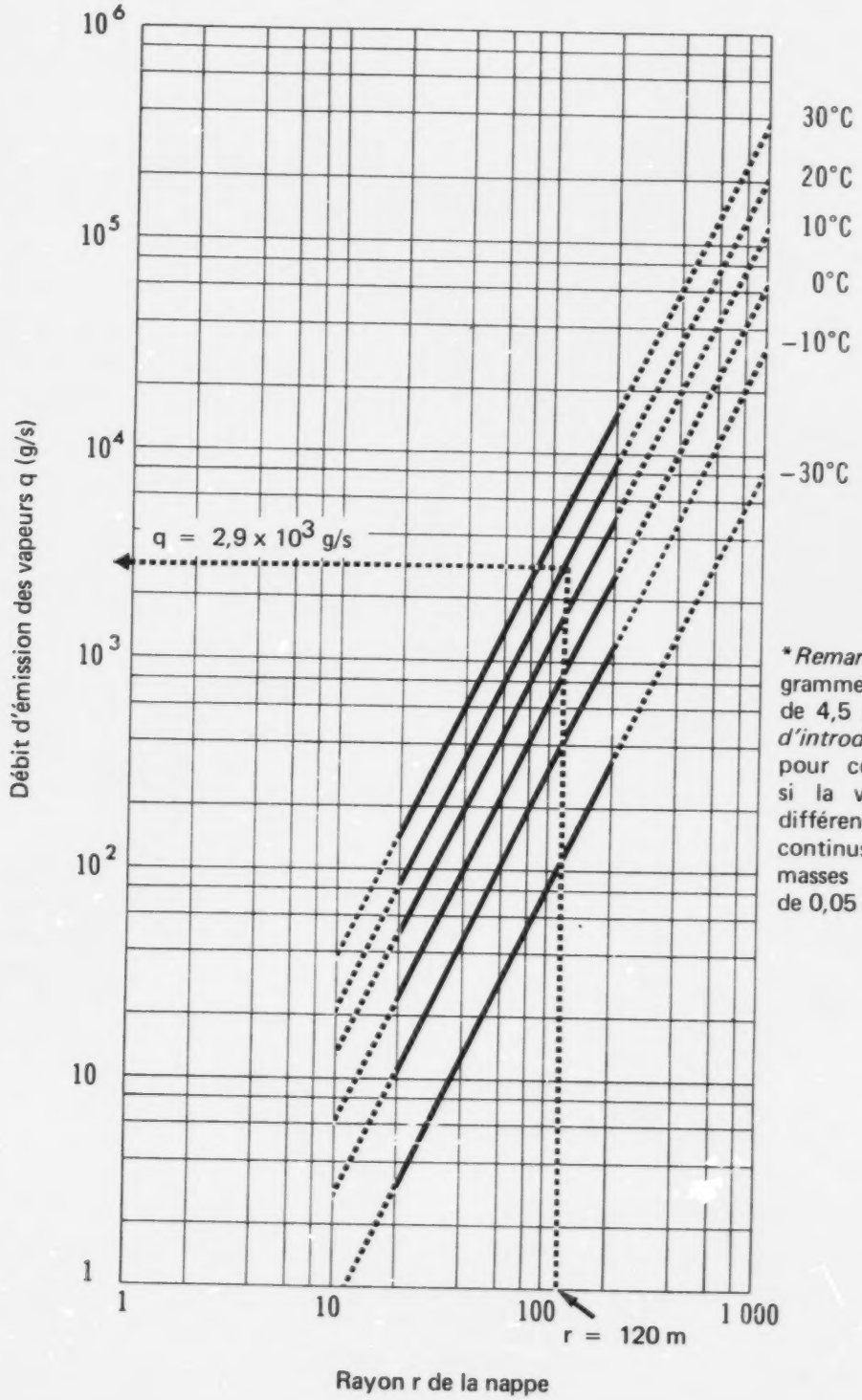
Étape n° 11: *t* = ... s

Étape n° 12: voir figure 18 en utilisant u de l'étape n° 4
x_t = ... km

Figure 15

ACIDE NITRIQUE (42 °Bé)

DÉBIT D'ÉMISSION DES VAPEURS À DIFFÉRENTES TEMPÉRATURES* EN FONCTION DU RAYON DE LA NAPPE



**Remarque.* — Le nomogramme vaut pour un vent de 4,5 m/s. Voir le *Manuel d'introduction Enviroguide* pour convertir les valeurs si la vitesse du vent est différente. Les segments continus représentent des masses de liquide déversé de 0,05 à 120 tonnes.

modèle a été choisi pour des liquides hydrosolubles et dont le point d'ébullition est supérieur à la température ambiante, ainsi que pour certains liquides organiques hydrosolubles ou non, dont CHRIS ne fait pas mention. Comme un plan d'eau présente une surface plane et unie, ce qui est rarement le cas lorsqu'il y a un déversement sur terre (sol poreux et irrégulier), on obtient un rayon maximal, donc des valeurs maximales. Si l'on applique l'algorithme calculé pour un plan d'eau à un déversement sur terre, le rayon sera plus grand qu'en réalité et les valeurs obtenues seront celles qui s'appliquent à des cas extrêmes.

5.3.2.2 Teneur en vapeurs en fonction de la distance sous le vent. - La figure 16 illustre la relation qui existe entre la teneur en polluant, sous forme de vapeurs, et la distance sous le vent pour les catégories météorologiques D et F. Le nomogramme a été établi à l'aide des modèles de diffusion décrits dans le *Manuel d'introduction Enviroguide*. La teneur en vapeurs est représentée par la teneur uniformisée Tu/q au ras du sol le long de la médiane du panache schématisé. La catégorie F est la moins propice à la diffusion du panache; la catégorie D est la plus fréquente presque partout au Canada. Il faut déterminer la catégorie appropriée (tableau 8) avant d'utiliser la figure 16.

Tableau 8
Catégories météorologiques (de stabilité)

Catégorie F	Catégorie D
Vitesse du vent < 11 km/h (≈ 3 m/s) et l'une des conditions suivantes: ciel couvert durant le jour; nuit; forte inversion de température.	S'applique à pratiquement toutes les autres conditions.

UTILISATION DU NOMOGRAMME

La distance maximale dangereuse du côté sous le vent x peut être déterminée à l'aide de la figure 16, si l'on possède les données suivantes:

Masse de vapeurs émises (m_e) (= 25 p. 100 de la masse de liquide déversé)

Vitesse du vent u, en m/s;

Catégorie météorologique (de stabilité);

Teneur T dangereuse limite, soit la valeur la moindre entre 10 fois la *Threshold Limit Value*® (g/m^3) et la limite inférieure d'inflammabilité (g/m^3), sauf s'il s'agit de vapeurs ininflammables, auquel cas il faut opter pour 10 x TLV®. (Pour convertir en g/m^3 la TLV®, utiliser la figure 17.)

Figure 16

ACIDE NITRIQUE (42 °Bé)

TENEUR UNIFORMISÉE EN VAPEURS
EN FONCTION DE LA DISTANCE SOUS LE VENT

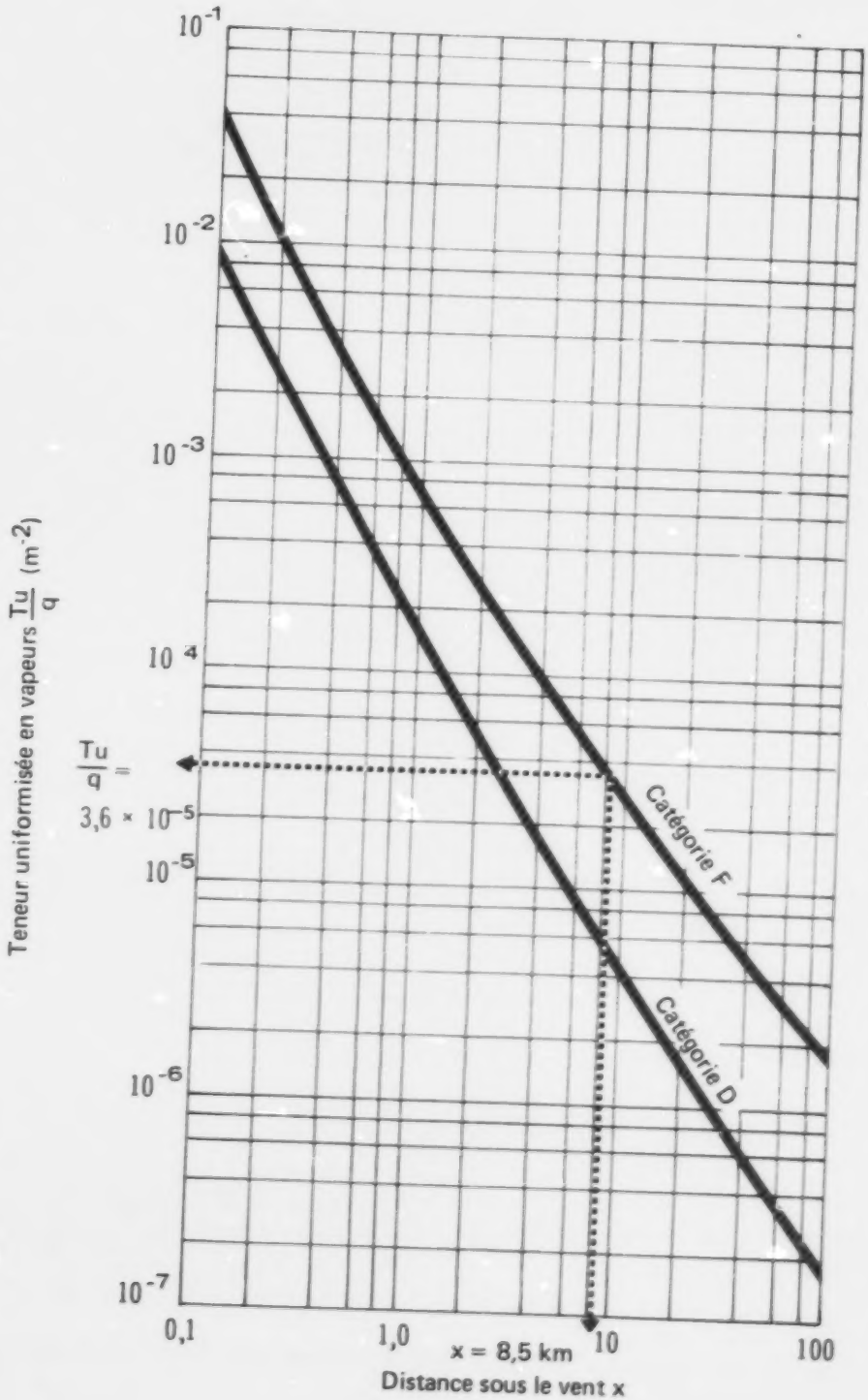
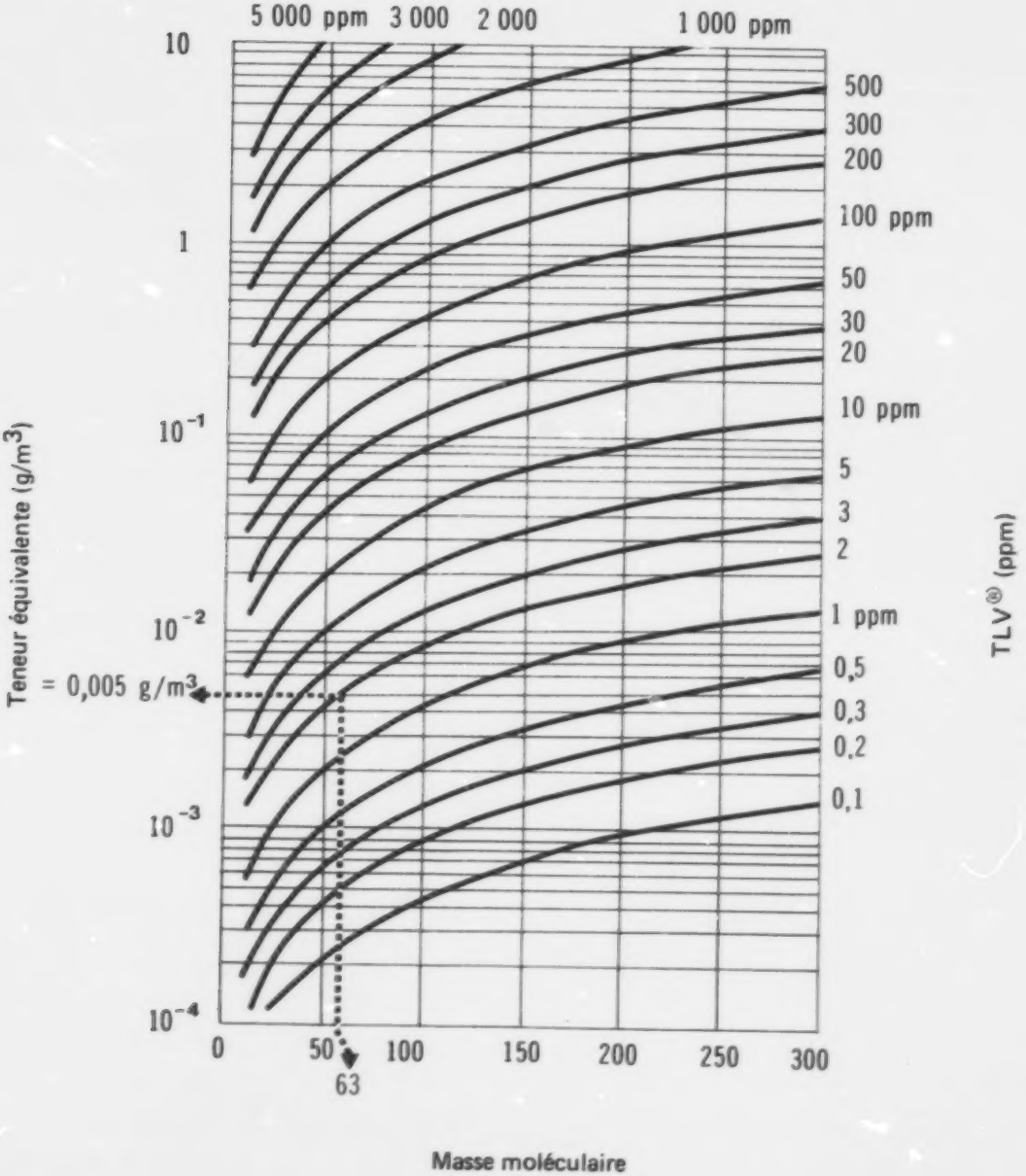


Figure 17

ACIDE NITRIQUE

CONVERSION DES UNITÉS DE LA TLV® (ppm en g/m³)



Exemple. — Masse moléculaire de l'acide nitrique = 63, TLV® = 2 ppm alors TLV® en g/m³ = 0,005.

Remarques: Ces données valent pour une température de 25 °C et une pression de Hg de 760 mm.

Une teneur dangereuse limite, égale à 10 x TLV®, a été choisie de façon arbitraire; elle représente une limite "relativement réaliste" au-delà de laquelle une exposition de courte durée (30 minutes) présente un danger pour la santé. La TLV® est une norme d'exposition de longue durée sur les lieux de travail. Si elle était utilisée comme teneur limite dangereuse, la zone dangereuse atteindrait des proportions démesurées.

5.3.2.3 Demi-largeur maximale du panache dangereux. - Le tableau 9 présente des valeurs de la demi-largeur *maximale* L/2 max. du panache pour une plage de valeur q/u, en fonction des catégories de stabilité D et F. Ces valeurs ont été calculées à l'aide des modèles de diffusion expliqués dans le *Manuel d'introduction Enviroguide*, en supposant une teneur dangereuse limite (ce qu'on appelle communément une teneur maximale admissible) égale à 10 fois la TLV® attribuée à l'acide nitrique (soit 10 x 0,005 g/m^3). La demi-largeur du panache dangereux représente la demi-largeur du nuage de vapeurs d'acide nitrique, situé du côté sous le vent et atteignant une teneur égale à 10 x TLV®. Le tableau 9 ne s'applique donc que dans le cas de cette teneur limite de 0,05 g/m^3. À noter que la distance maximale considérée est de 100 kilomètres.

Dans les conditions (météorologiques) de stabilité D, la plage de vitesses du vent s'étend de 1 à 30 m/s. Par ailleurs, l'éventail de masses de vapeurs émises, dans le tableau 9, va de 1500 à 350 000 g/s, qui correspondent respectivement à un déversement de 6 tonnes à 600 tonnes et plus d'acide nitrique. Si tout le contenu, soit 80 000 l (17 600 gal imp.) d'un wagon-citerne était déversé, cela représenterait une masse de 120 000 kg (120 tonnes). Le tableau 9, pour la catégorie D, fournit des chiffres calculés en fonction de masses 50 fois plus considérables.

Dans les conditions (météorologiques) de stabilité F, la plage de vitesses du vent s'étend de 1 à 3 m/s. Le tableau 9 comporte un éventail de masses de vapeurs émises qui va de 150 à 30 000 g/s, c.-à-d. 0,3 à 7000 tonnes d'acide nitrique déversé pour des conditions de catégorie F. Ainsi, pour la catégorie F, le tableau 9 fournit des chiffres calculés en fonction de masses représentant environ 6 fois le poids utile d'un wagon-citerne type.

UTILISATION DU NOMOGRAMME

La masse de vapeurs émises étant connue, de même que la catégorie de stabilité, choisir la valeur la plus proche fournie dans le tableau et la demi-largeur maximale correspondante. Si vous désirez une valeur intermédiaire, déterminez par interpolation q/u et L/2 max. (Voir aussi l'exemple qui accompagne le tableau 9.)

5.3.2.4 Distance parcourue par le panache en fonction du temps écoulé. - La figure 18 indique la distance x parcourue par le panache après un temps *t* de déplacement pour une vitesse de vent u donnée. Il s'agit de la représentation graphique de la relation $x_t = ut$ appliquée à un éventail de vitesses de vent courantes.

Tableau 9
Demi-largeur maximale du panache dangereux de vapeurs d'acide nitrique titrant 42 °Bé (à 20 °C)

Catégorie météorologique D			Catégorie météorologique F		
q/u (g/m)	L/2 max. (m)		q/u (g/m)	L/2 max. (m)	
350 000	3430	(99,5 km)*	30 000	1430	(99,5 km)*
300 000	3115		25 000	1250	
250 000	2785		20 000	1060	
200 000	2425		15 000	850	
175 000	2235		10 000	630	
150 000	2030		7 500	510	
125 000	1815		5 000	375	
100 000	1580		2 500	240	
75 000	1320	q/u = 1380 →	1 500	175 →	L/2 max. = 175 m
50 000	1030		1 000	135	
30 000	750		750	110	
25 000	670		500	85	
20 000	585		250	55	
15 000	500		100	35	
10 000	395		50	25	
7 500	335				
5 000	260				
2 500	175				
1 000	100				
750	85				
500	70				
250	50				
100	30				
50	20				

* Les données valent pour une distance maximale sous le vent de 100 km.

Remarque: Les données ci-dessus valent pour une teneur d'acide nitrique de 0,05 g/m^3 (10 x TLV®).

Exemple: Pour un débit d'émission q = 2,9 x 10^3 g/s, des conditions de stabilité F et une vitesse du vent u de 2,1 m/s, q/u = 1380 g/m, ce qui donne une demi-largeur maximale du panache dangereux L/2 max. de 175 m.

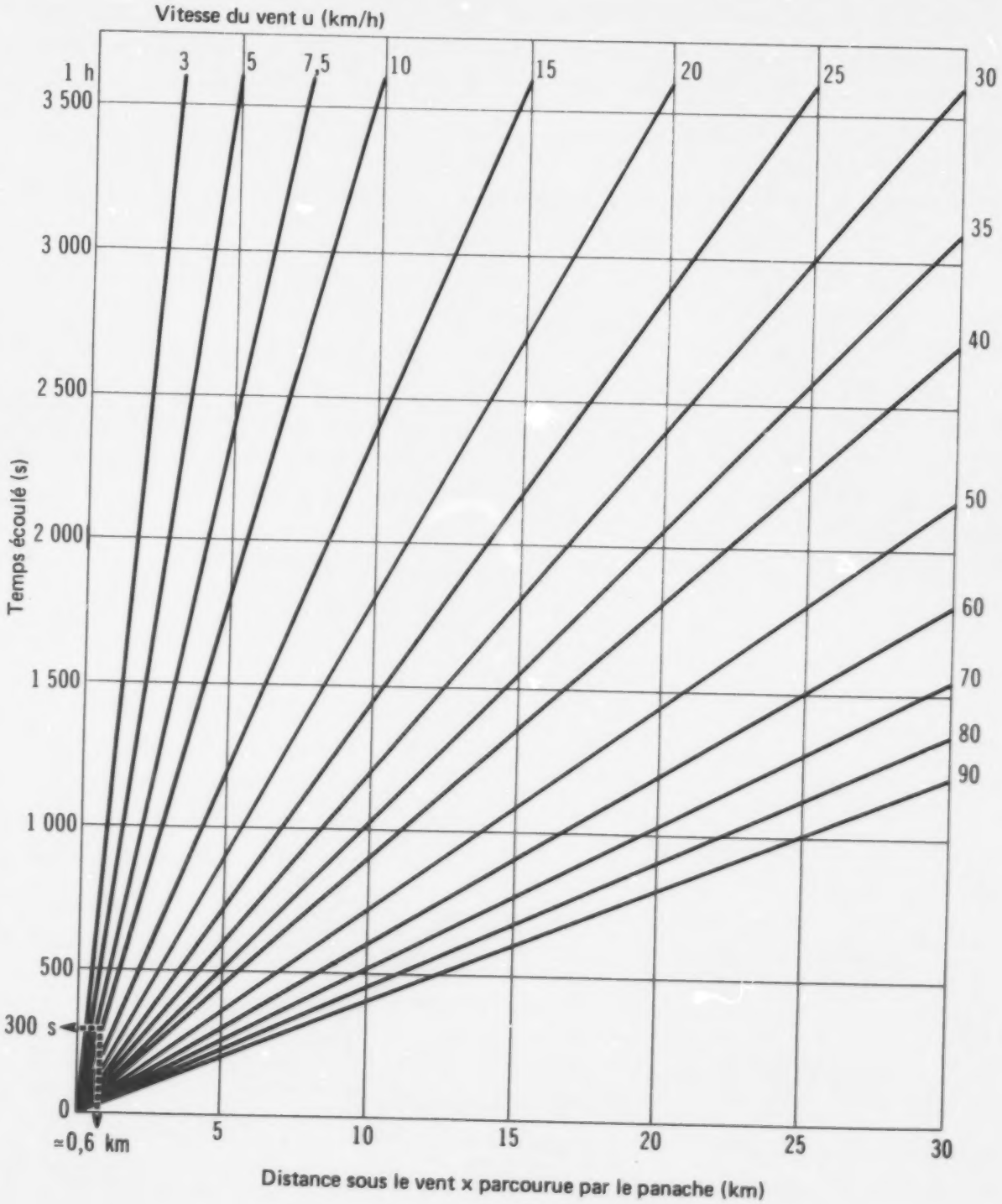
UTILISATION DU NOMOGRAMME

La vitesse u du vent et le temps *t* de déplacement du panache étant connus, la distance x_t parcourue du côté sous le vent peut être obtenue.

Figure 18

ACIDE NITRIQUE

DISTANCE PARCOURUE PAR LE PANACHE EN FONCTION DU TEMPS ÉCOULÉ



5.3.3 Étapes du calcul. - L'exemple donné ci-dessous illustre les étapes à suivre dans le calcul qui permet de déterminer la zone dangereuse sous le vent à partir du lieu où se produit un déversement. L'utilisateur prendra note des limites des méthodes de calcul décrites dans le présent guide ou dans le *Manuel d'introduction Enviroguide*. Les estimations ne valent que pour les conditions précisées. Il est souhaitable que l'utilisateur se serve de données connues ou observables (par exemple, le rayon de la nappe).

DONNÉES DU PROBLÈME

Au cours de la nuit, vers 2 h, 20 tonnes d'acide nitrique ont été déversées sur un sol plat. Il est maintenant 2 h 05. La température est de 20 °C et le vent souffle du nord-ouest à une vitesse de 7,5 km/h. Déterminer la zone de vapeurs dangereuses.

Étape 1 La masse *m* de liquide déversé est de 20 tonnes.

Étape 2 Calculer le rayon r de la nappe.

Utiliser le rayon mesuré sur place si cela est possible.

Sinon, utiliser le rayon maximal calculé en fonction d'une épaisseur de la nappe de 2 mm.

r = 120 ÷ 1000 = 0,12 km.

Étape 3 Calculer le débit d'émission q à temp. = 20 °C.

r = 120 m et temp. = 20 °C, $q = 2{,}9 \times 10^3$ g/s.

Étape 4 Déterminer la vitesse du vent u et sa direction *D*.

Utiliser l'information accessible sur les conditions météorologiques, de préférence à partir d'observations faites sur le terrain. Ici:

u = 7,5 km/h; alors u = 7,5 ÷ 3,6 = 2,1 m/s;

D = N.-O. ou 315° (*D* = direction d'où souffle le vent).

Étape 5 Déterminer la catégorie de stabilité.

Le tableau 9 permet d'établir qu'il s'agit de la catégorie F, puisque u < 11 km/h et que le déversement se produit au cours de la nuit.

Étape 6 Déterminer la teneur T dangereuse limite.

Il s'agit de la valeur la moindre entre la TLV® et la limite inférieure d'inflammabilité. Les vapeurs d'acide nitrique étant ininflammables, il n'y a pas de L.I.I et $T = 0{,}05$ g/m^3 (TLV® = 0,005 g/m^3).

Étape 7 Calculer Tu/q.

$$Tu/q = \frac{0{,}05 \times 2{,}1}{2{,}9 \times 10^3} = 3{,}6 \times 10^{-5}\ \text{m}^{-2}.$$

Étape 8 Calculer la distance maximale dangereuse du côté sous le vent x à partir du point source p théorique.

Se servir de la figure 18. Pour une catégorie F de stabilité

si $Tu/q = 3,6 \times 10^{-5}\ m^{-2}$, $x_p \simeq 8,5$ km.

Étape 9 Calculer la distance dangereuse maximale du côté sous le vent x à partir de l'aire source a.

Comme $x_p = 8,5$ km et r = 0,12 km,

$x_a = x_p - 10\ r = 8,5\ km - 10(0,12\ km) = 7,5$ km.

Étape 10 Calculer la demi-largeur maximale du panache dangereux.

Se servir du tableau 9. Comme $q = 2,9 \times 10^3$ g/s et u, 2,1 m/s

$$q/u = \frac{2,9 \times 10^3}{2,1} = 1380\ g/m.$$

Pour la catégorie F de conditions météorologiques, la valeur de q/u la plus proche est de 1500 g/m, ce qui donne une demi-largeur maximale d'environ 175 m.

Étape 11 Déterminer le temps *t* écoulé depuis le début du déversement.

$t = 5$ mn x 60 = 300 s.

Étape 12 Calculer la distance sous le vent x parcourue par le panache depuis le début du déversement.

Se servir de la figure 18. Comme $t = 300$ s et u = 7,5 km/h,

$x_t = 0,6$ km (plus précisément: $ut = 2,1$ m/s x 300 s = 630 m = 0,63 km).

Étape 13 Schématiser la zone dangereuse.

Cela se fait en formant un rectangle dont deux des côtés opposés mesurent (chacun) deux fois la demi-largeur maximale du panache dangereux (175 m), alors que les deux autres côtés mesurent (chacun) l'équivalent de la distance maximale dangereuse sous le vent à partir de l'aire source, soit 7,3 km, et sont orientés dans la direction du vent (voir figure 19).

Si le vent ne fluctue que de 20° (315° ± 10°) le schéma de la zone dangereuse correspond à la figure 20.

Note. - Au cours des 5 minutes qui se sont écoulées depuis le début du déversement, le panache a franchi 0,63 km. Sous un vent de 7,5 km/h, il s'écoulerait encore 53 minutes avant que le panache franchisse la distance maximale dangereuse sous le vent, soit 7,3 km.

5.4 Comportement dans l'eau

5.4.1 Introduction. - Lorsque de l'acide nitrique est déversé dans l'eau, il se mélange rapidement à celle-ci avec formation d'un nuage de vapeurs toxiques. En général, le

Figure 19

ACIDE NITRIQUE (42 °Bé)

ZONE DANGEREUSE MAXIMALE SOUS UN VENT INVARIABLE EXEMPLE DE PROBLÈME

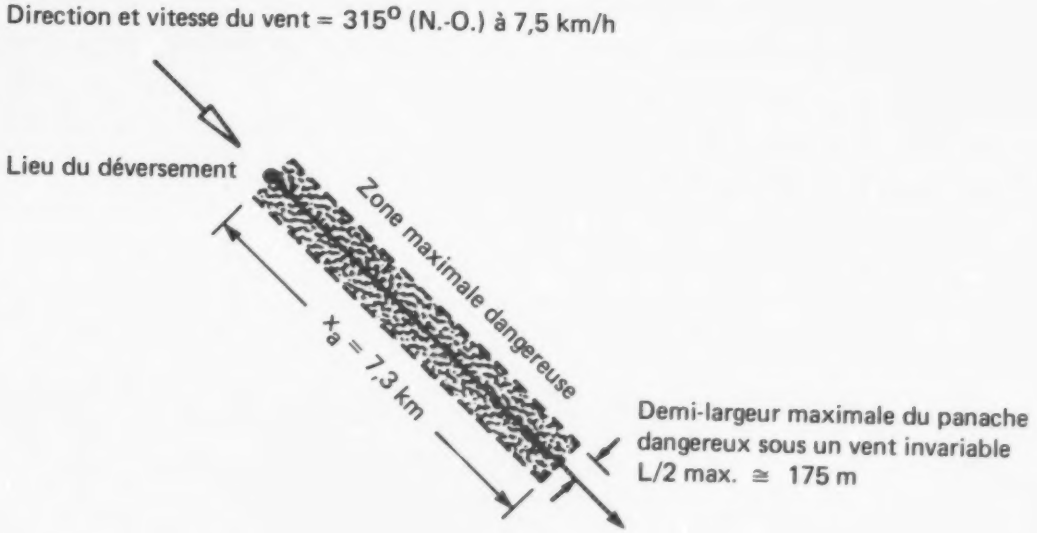
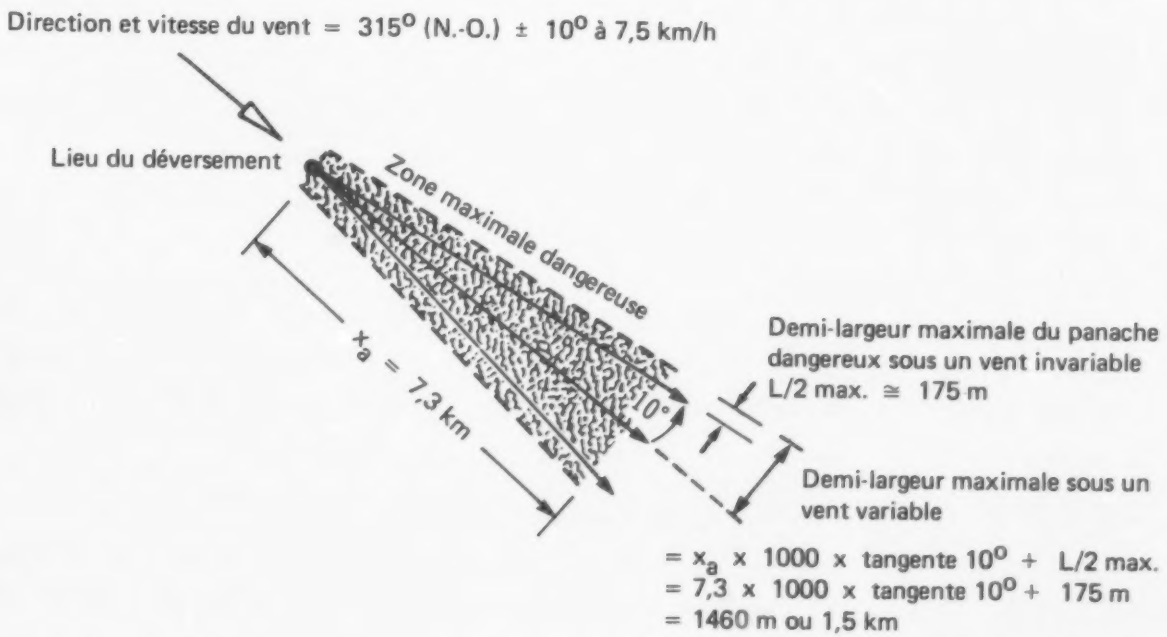


Figure 20

ACIDE NITRIQUE (42 °Bé)

ZONE DANGEREUSE MAXIMALE SOUS UN VENT VARIABLE EXEMPLE DE PROBLÈME



phénomène de mélange peut être décrit par les équations de diffusion classiques, comportant un ou plusieurs coefficients de diffusion. Dans les cours d'eau, le mélange est surtout le résultat d'un écoulement turbulent, alors que dans un plan d'eau (étendue d'eau calme), il s'effectue par diffusion moléculaire.

Pour évaluer la teneur en polluant de l'eau d'un cours d'eau en aval du lieu d'un déversement, les auteurs ont utilisé un modèle de diffusion turbulente. Ce modèle s'applique aux liquides miscibles à l'eau, de densité équivalente à celle de l'eau, et aux solides hydrosolubles. Il vaut donc pour l'acide nitrique.

Le modèle utilisé est unidimensionnel; il établit un canal rectangulaire théorique et suppose une teneur uniforme en polluant dans toute section donnée de l'écoulement (section mouillée). En pratique, une telle uniformité n'est possible qu'en des points situés assez loin en aval du lieu du déversement, là où les mécanismes de mélange et de dilution ont joué suffisamment pour produire une répartition égale du polluant à travers le canal. Le modèle s'applique aux cours d'eau dont le rapport largeur/profondeur est inférieur à 100. Il postule également un coefficient de rugosité de Manning de 0,03. (Pour plus de détails au sujet de ce modèle, voir le *Manuel d'introduction Enviroguide.*)

En ce qui a trait à la diffusion moléculaire dans un plan d'eau, aucun modèle n'a été élaboré. Les auteurs ont établi des nomogrammes permettant de délimiter la zone dangereuse et de calculer la teneur moyenne dans cette zone en fonction de la masse de liquide déversé, indépendamment du temps écoulé.

5.4.2 Nomogrammes de la diffusion du polluant dans l'eau. - Le lecteur trouvera ci-dessous la liste des nomogrammes servant à déterminer les teneurs en polluant des cours d'eau non soumis aux marées et des lacs au repos et autres plans d'eau.

A. - Cours d'eau non soumis aux marées

Figure 22 Distance en fonction du temps (pour une plage de vitesses moyennes d'écoulement)

Figure 23 Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal (pour une plage de profondeurs du canal (hauteurs d'eau))

Figure 24 Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique (pour une plage de vitesses moyennes d'écoulement)

Figure 25 Alpha* en fonction du coefficient de diffusion turbulente (pour différentes valeurs de temps écoulé)

Figure 26 Delta* en fonction d'alpha (pour différentes masses de liquide déversé)

---

* Alpha et delta ne sont que des facteurs de conversion: leur utilité est de faciliter le calcul des teneurs en aval du lieu du déversement.

Figure 27 Teneur maximale en fonction de delta (pour des sections mouillées de différentes surfaces)

B. - Lacs au repos et autres plans d'eau

Figure 28 Volume d'eau en fonction du rayon hydraulique de la zone dangereuse (pour différentes profondeurs, c.-à-d. différentes hauteurs d'eau)

Figure 29 Teneur moyenne en fonction du volume d'eau de la zone dangereuse (pour différentes masses de liquide déversé)

La figure 21 présente les étapes à suivre pour évaluer la teneur en polluant en un point situé en aval du lieu du déversement et indique les nomogrammes à utiliser; ces derniers sont expliqués dans les paragraphes qui suivent.

5.4.2.1 Diffusion dans les cours d'eau non soumis aux marées

Figure 22 Distance en fonction du temps. - Le graphique montre les relations entre la vitesse moyenne de l'écoulement, le temps écoulé et la distance parcourue. Pour une vitesse moyenne de l'écoulement V donnée, le temps t que met le polluant pour atteindre un point situé à une distance x donnée en aval du lieu du déversement peut être obtenu rapidement à l'aide de ce graphique.

Figure 23 Rayon hydraulique en fonction de la largeur du canal. - Le modèle choisi pour évaluer la teneur en polluant en aval du lieu du déversement comporte un canal rectangulaire théorique de largeur L, ayant une hauteur d'eau h. Le rayon hydraulique r doit être connu pour calculer le coefficient de diffusion turbulente E. Le rayon hydraulique lui-même correspond au rapport de la surface de la section s mouillée (ou section de l'écoulement) au périmètre mouillé B. La figure 23 permet de déterminer le rayon hydraulique d'un canal à partir de la largeur de ce dernier et de la hauteur d'eau.

Figure 24 Coefficient de diffusion turbulente en fonction du rayon hydraulique. - Les données connues sur le rayon hydraulique r et sur la vitesse moyenne de l'écoulement V permettent de déterminer le coefficient de diffusion turbulente E.

Figure 25 Alpha en fonction du coefficient de diffusion turbulente. - Le nomogramme permet d'obtenir le facteur de conversion α; ce dernier est fonction du coefficient de diffusion turbulente E et du temps t requis pour atteindre un point situé en aval du lieu du déversement.

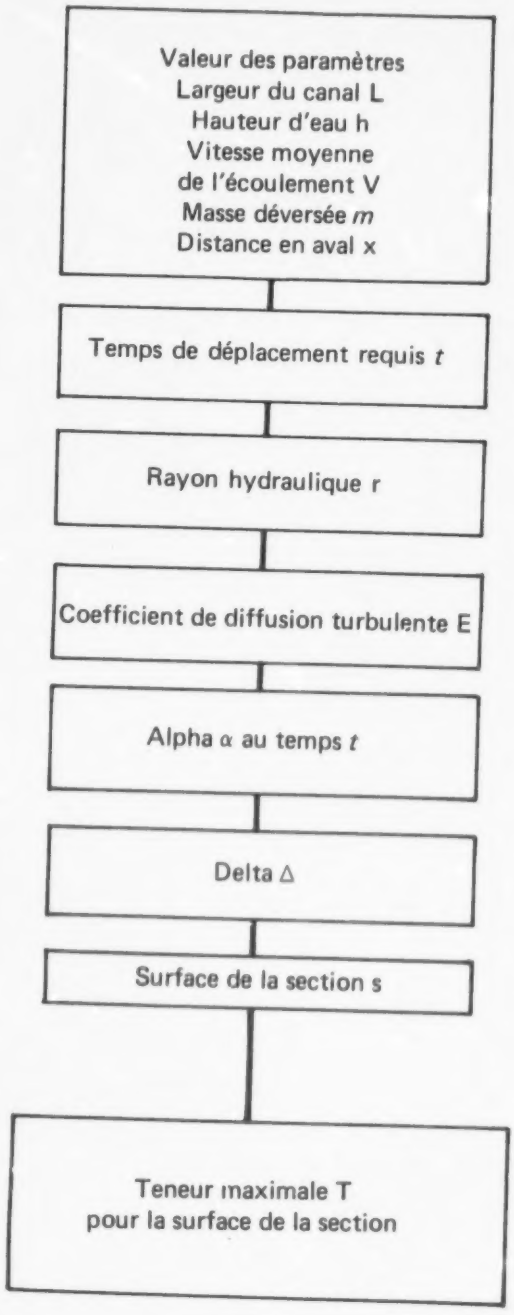
Figure 26 Delta en fonction de alpha. - Un second facteur de conversion, delta Δ, est requis pour évaluer la teneur en polluant en un point donné. Delta est fonction d'alpha et de la masse de liquide déversé.

Figure 27 Teneur maximale en fonction de delta. - Il s'agit de la dernière étape dans la détermination de la teneur maximale en polluant en un point situé en aval du lieu du

Figure 21

ACIDE NITRIQUE

ÉTAPES À SUIVRE POUR CALCULER LA TENEUR EN POLLUANT D'UN COURS D'EAU NON SOUMIS AUX MARÉES



Étape 1

Par observation ou évaluation

L = _____ m

h = _____ m

V = _____ m/s

m = _____ tonnes

x = _____ m

Étape 2 t = _____ mn (fig. 22)

Étape 3 r = _____ m (fig. 23)

Étape 4 E = _____ m^2/s (fig. 24)

Étape 5 α = _____ (fig. 25)

Étape 6 Δ = _____ (fig. 26)

Étape 7 s = L x h = _____ m^2

Étape 8 T = _____ ppm (fig. 27)

Figure 22

ACIDE NITRIQUE

DISTANCE
EN FONCTION DU TEMPS

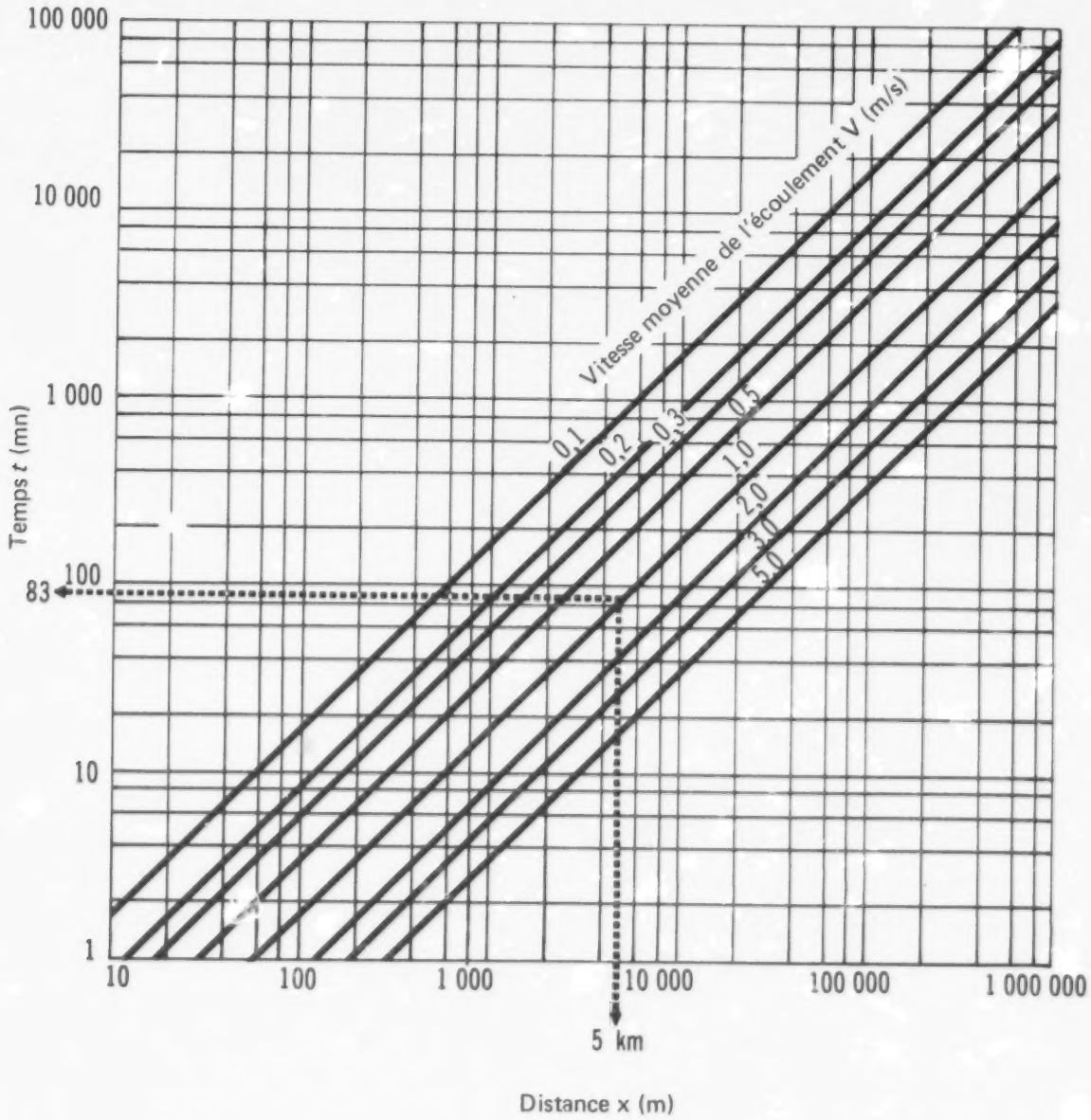


Figure 23

ACIDE NITRIQUE

RAYON HYDRAULIQUE
EN FONCTION DE LA LARGEUR DU CANAL

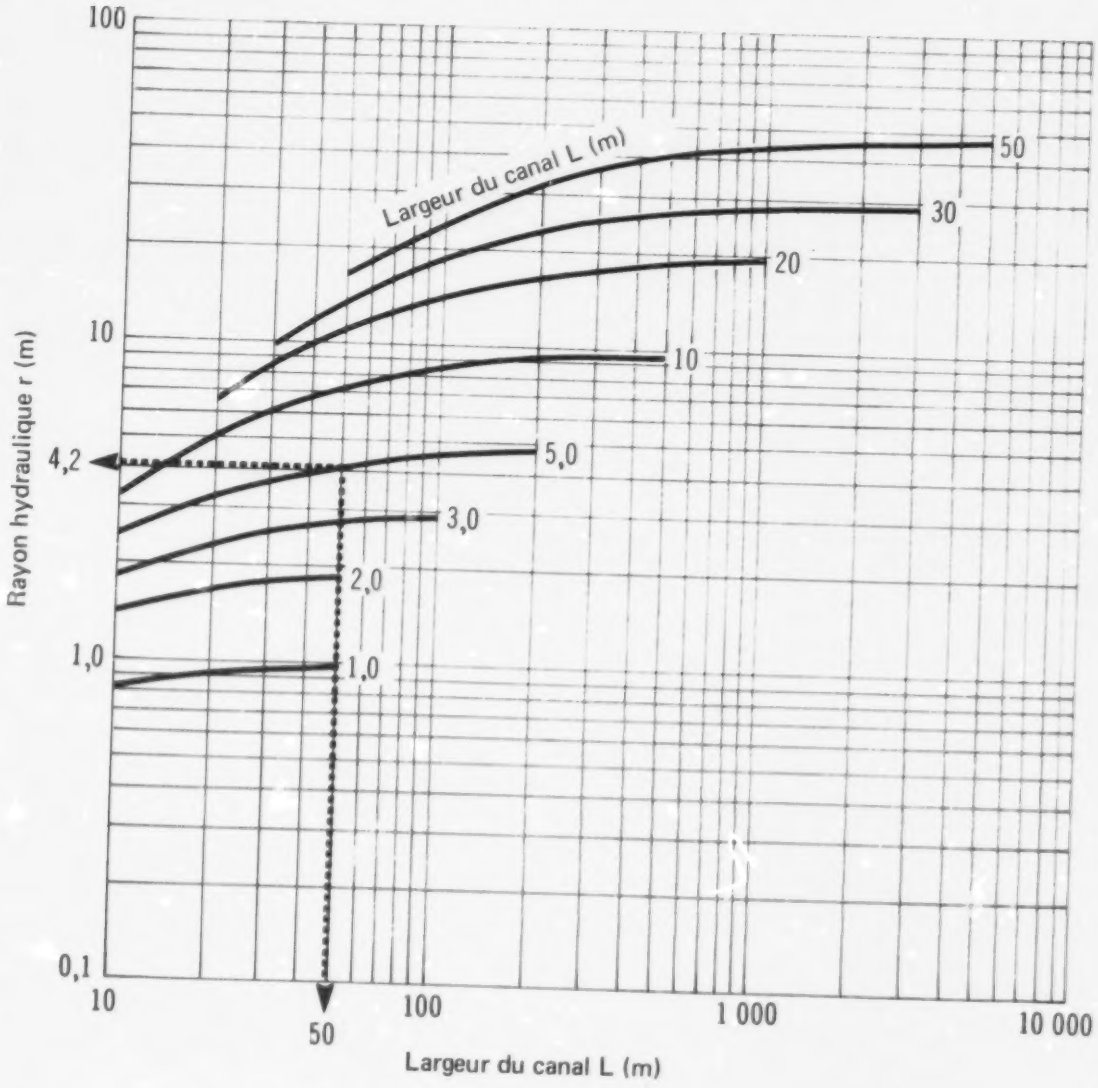


Figure 24

ACIDE NITRIQUE

COEFFICIENT DE DIFFUSION TURBULENTE EN FONCTION DU RAYON HYDRAULIQUE

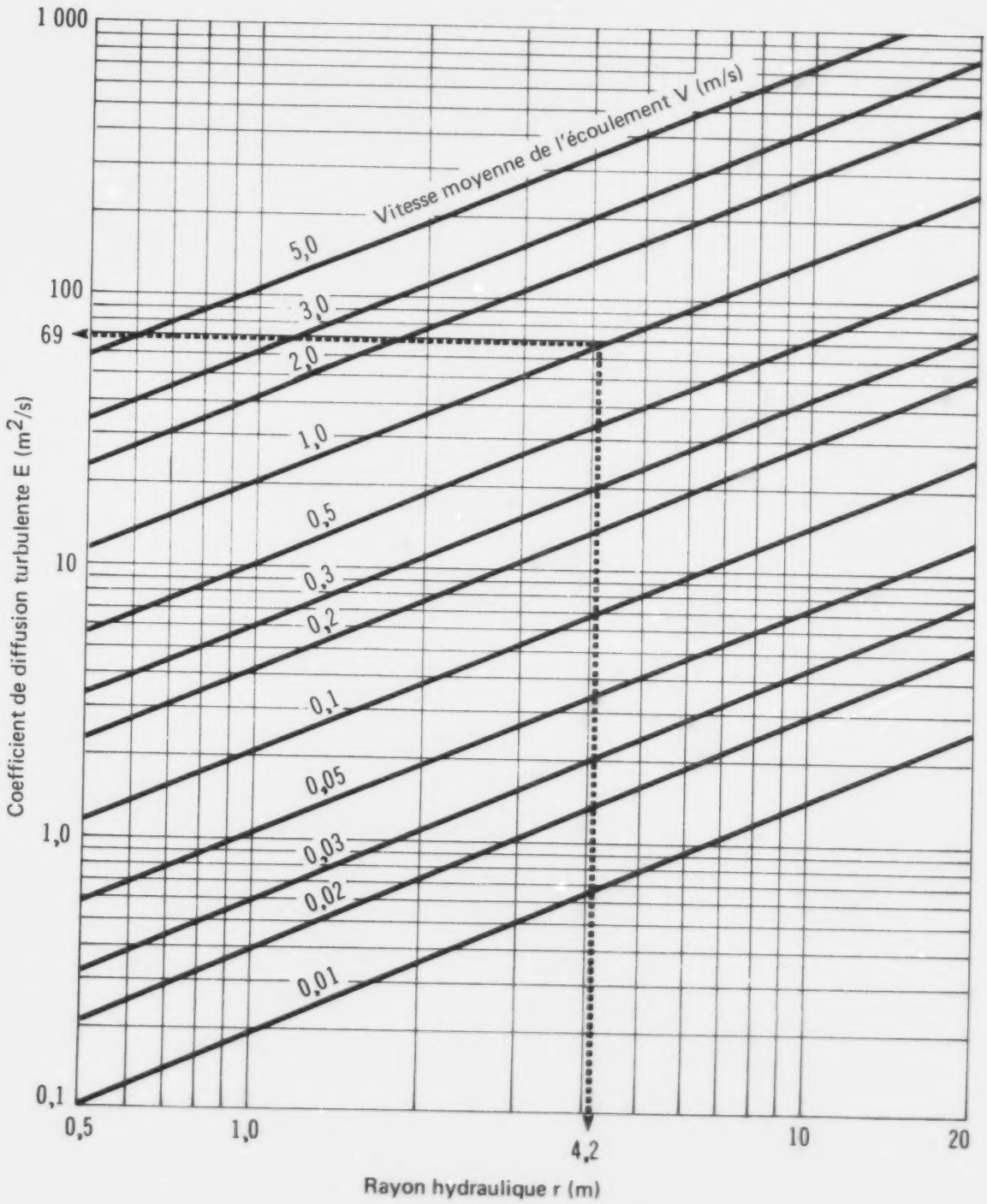


Figure 25

ACIDE NITRIQUE

ALPHA
EN FONCTION DU COEFFICIENT DE DIFFUSION TURBULENTE

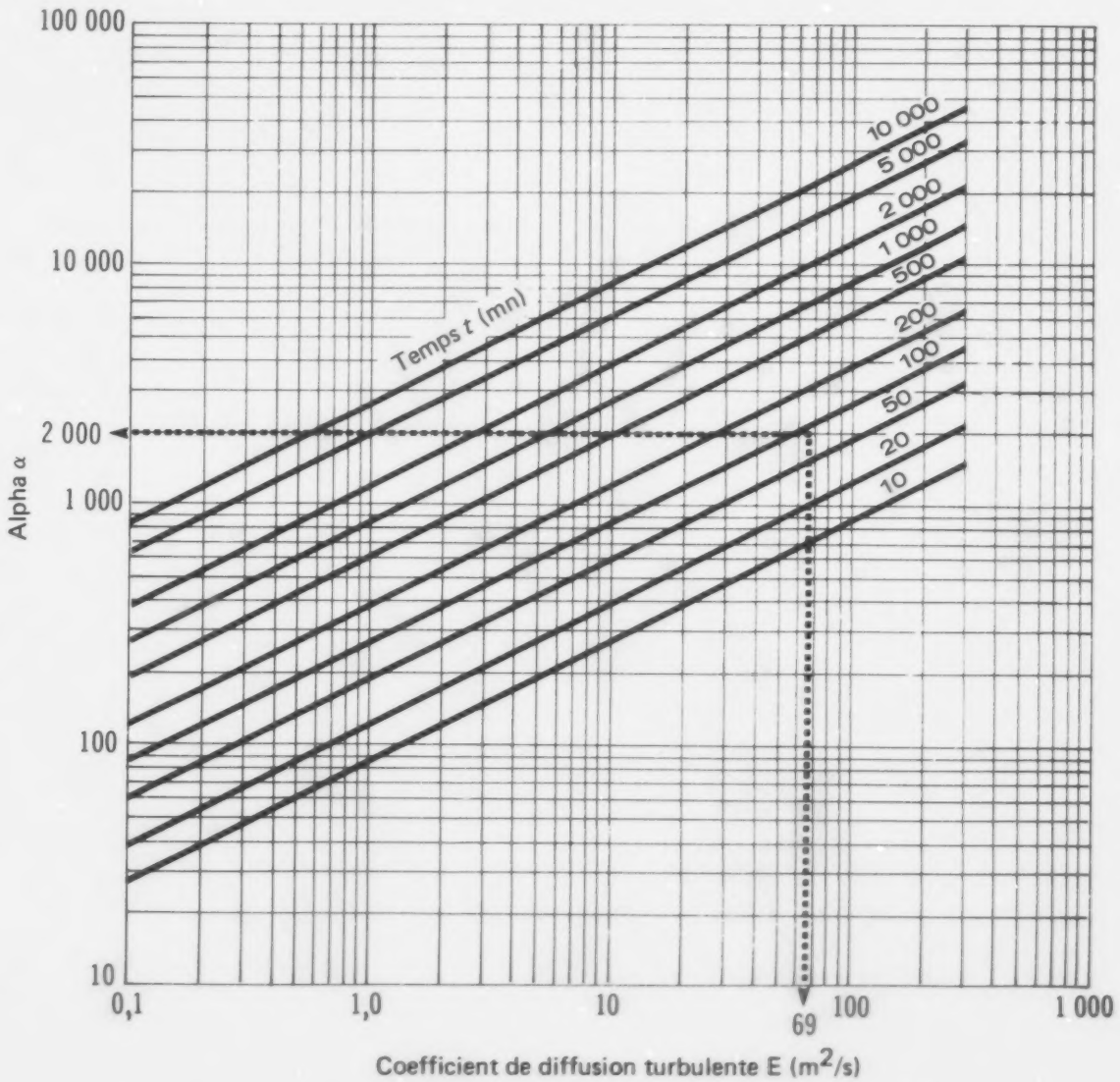


Figure 26

ACIDE NITRIQUE

DELTA
EN FONCTION DE ALPHA

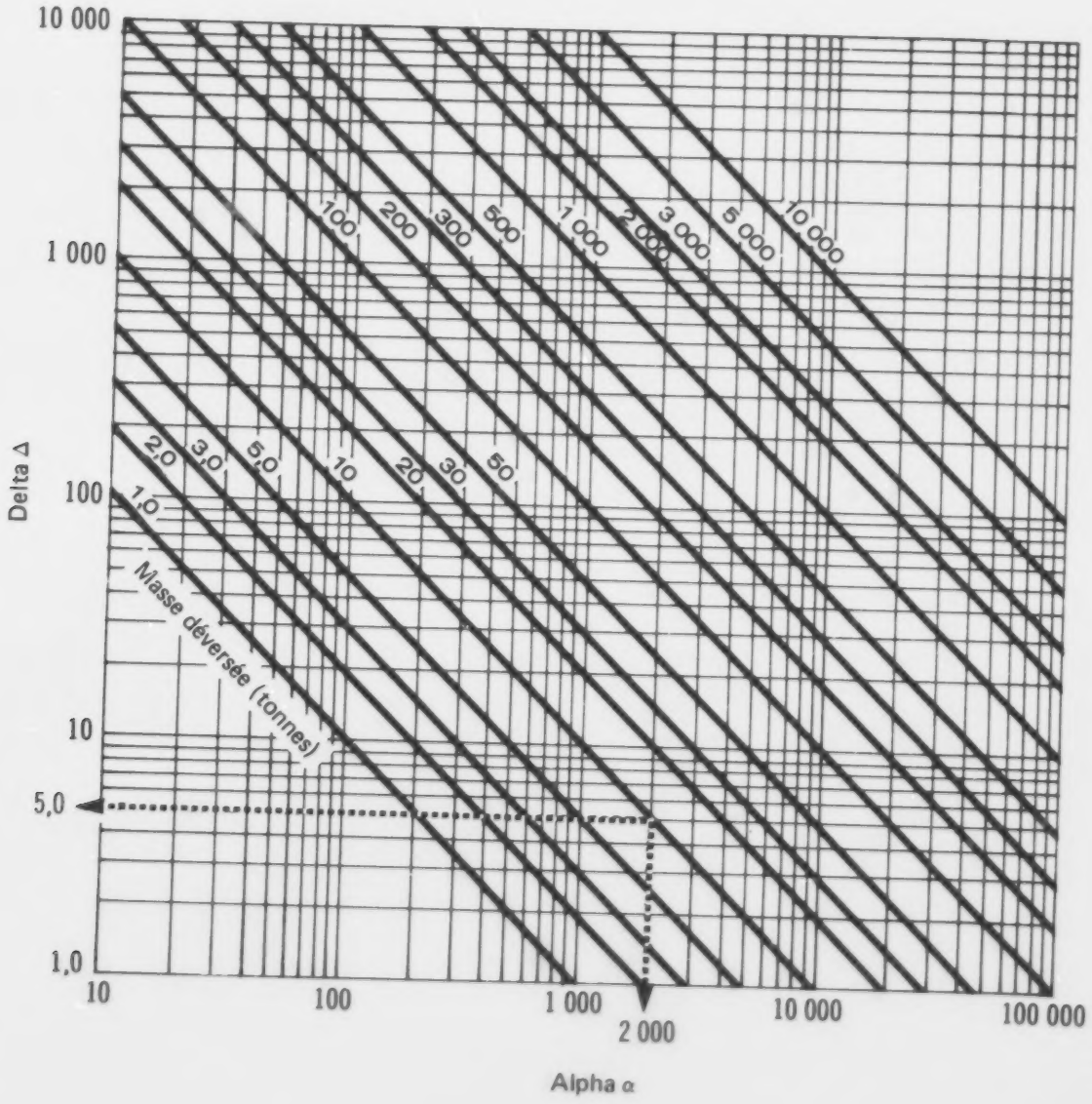
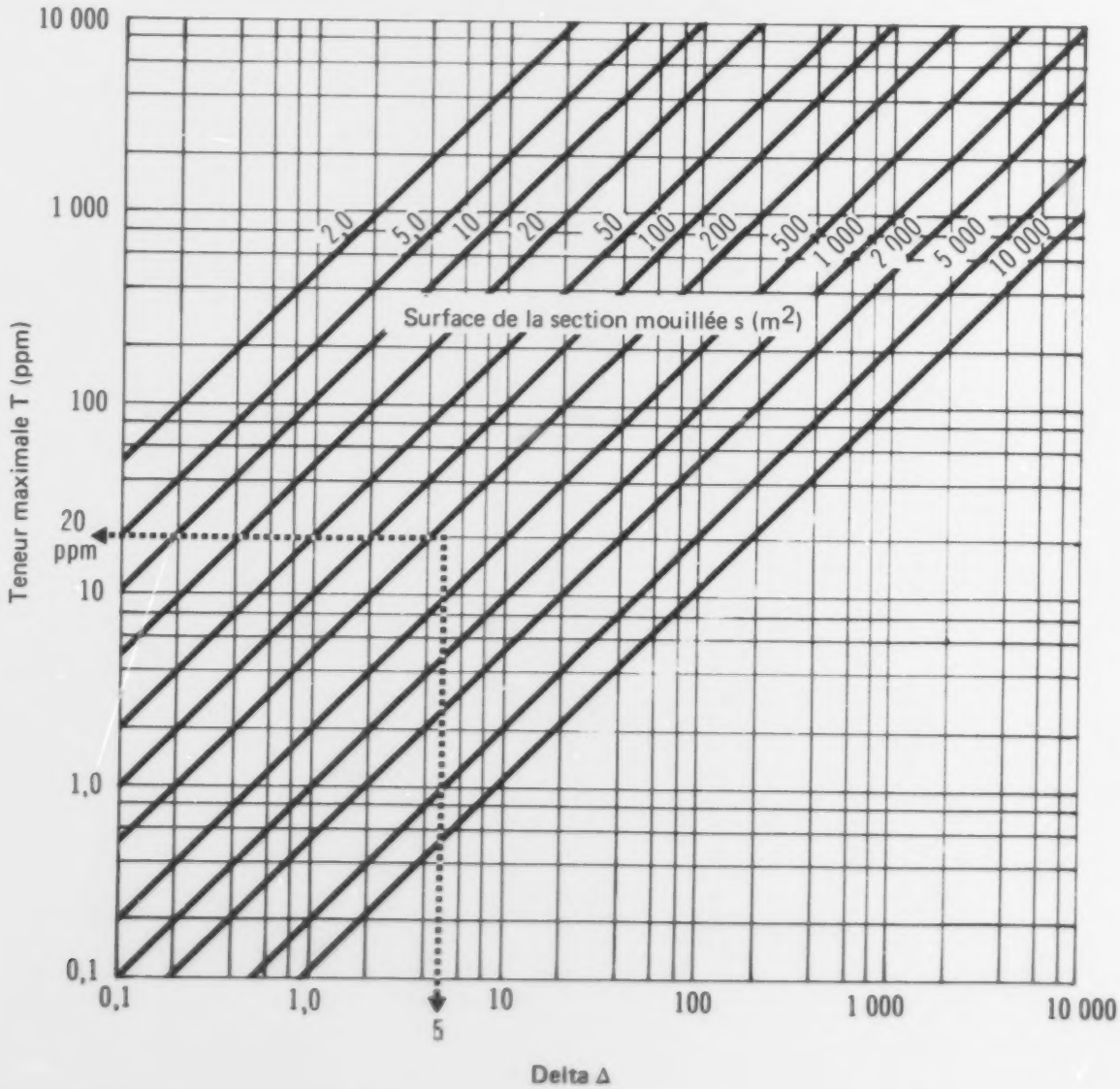


Figure 27

ACIDE NITRIQUE

TENEUR MAXIMALE
EN FONCTION DE DELTA



déversement. En se servant du facteur delta et connaissant la surface de la section mouillée s, le lecteur trouve rapidement la teneur. La valeur obtenue vaut pour les liquides miscibles à l'eau, de densité équivalente à celle de l'eau, et pour les solides hydrosolubles; elle variera quelque peu dans le cas de polluants dont la densité relative est supérieure ou inférieure à celle de l'eau.

5.4.2.2 Diffusion dans les lacs au repos et autres plans d'eau

Figure 28 Volume d'eau en fonction du rayon. - L'étendue d'eau calme (ni vent, ni courant) touchée par le déversement d'un liquide miscible (à l'eau), de densité équivalente à celle de l'eau, est représentée par un cylindre théorique de rayon r et de longueur égale à la hauteur d'eau h à l'endroit où le déversement se produit. Le volume d'eau peut être obtenu à l'aide de la figure 28. Le rayon r équivaut à la distance x entre le lieu du déversement et le point où la teneur est mesurée.

Figure 29 Teneur moyenne en fonction du volume d'eau. - Pour un volume d'eau connu du cylindre théorique, le nomogramme permet d'établir une teneur moyenne en polluant selon la masse de liquide déversé. Il est pris pour acquis que la diffusion du polluant est uniforme dans le cylindre. En pratique, dans le cas de substances dont la densité relative est supérieure ou inférieure à celle de l'eau, la teneur réelle près du fond sera plus forte ou plus faible.

5.4.3 Exemples de calcul

5.4.3.1 Teneur en polluant d'un cours d'eau non soumis aux marées. - Vingt tonnes d'acide nitrique titrant 50 p. 100 ont été déversées dans un cours d'eau. La hauteur d'eau h est de 5 m et la largeur L, de 50 m. La vitesse moyenne de l'écoulement est évaluée à 1 m/s. Quelle est la teneur maximale prévisible en un point situé à 5 km en aval, près d'une prise d'eau?

Étape 1 Déterminer les paramètres.

$L = 50$ m; $h = 5$ m; $V = 1$ m/s.

$m = 20$ tonnes de solution titrant 50 p. 100 = 10 tonnes d'acide nitrique.

Étape 2 Déterminer le temps requis pour atteindre le point donné.

Comme $x = 5000$ m et $V = 1$ m/s, $t = 83$ mn (fig. 22).

Étape 3 Déterminer le rayon hydraulique.

Comme $L = 50$ m et $h = 5$ m, $r = 4{,}2$ m (fig. 23).

Étape 4 Déterminer le coefficient de diffusion turbulente.

Comme $r = 4{,}2$ m et $V = 1$ m/s, $E = 69$ m^2/s (fig. 24).

Étape 5 Déterminer alpha.

Comme $E = 69$ m^2/s et $t = 83$ mn, $\alpha = 2000$ (fig. 25).

Figure 28

ACIDE NITRIQUE

VOLUME D'EAU EN FONCTION DU RAYON HYDRAULIQUE

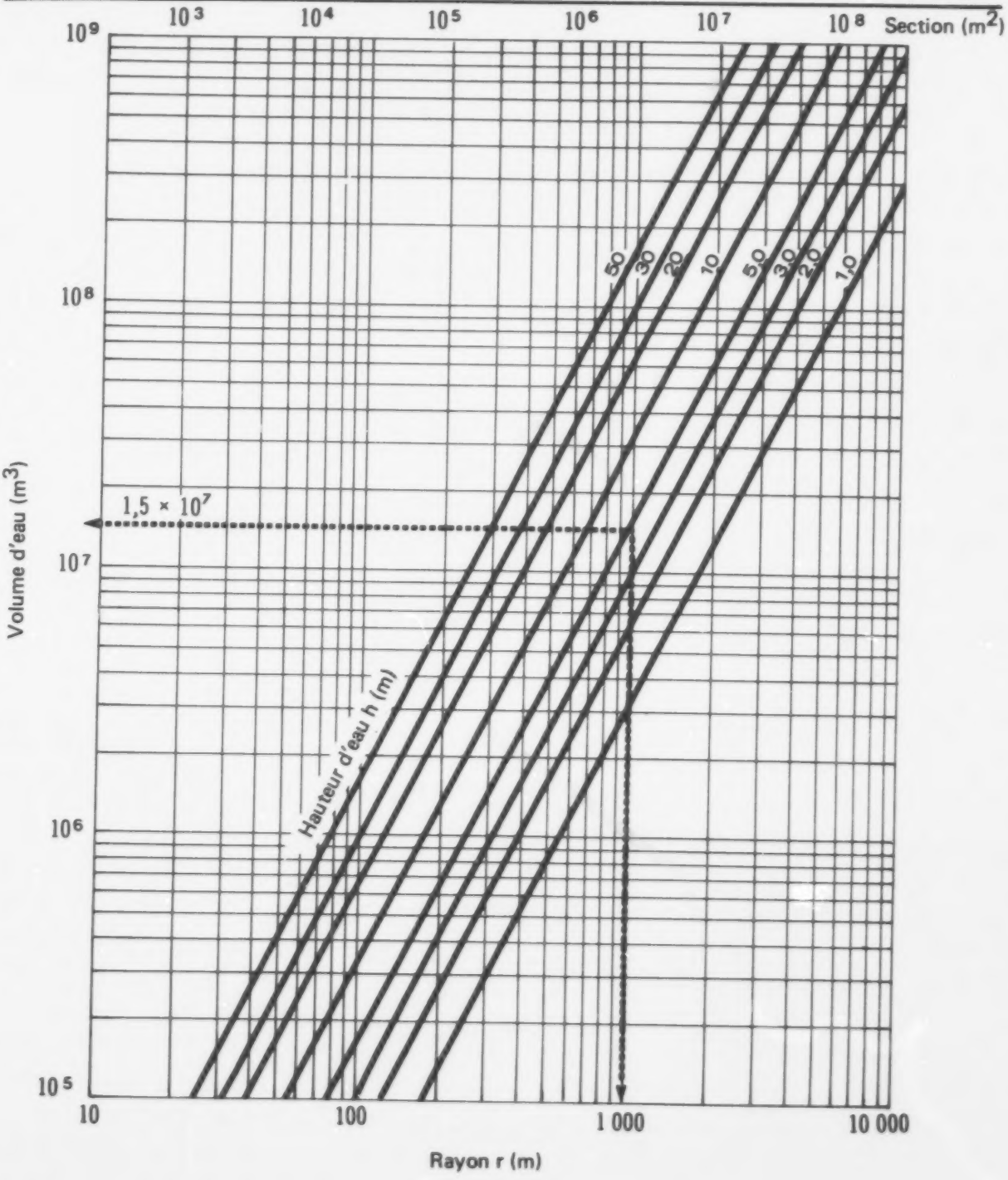
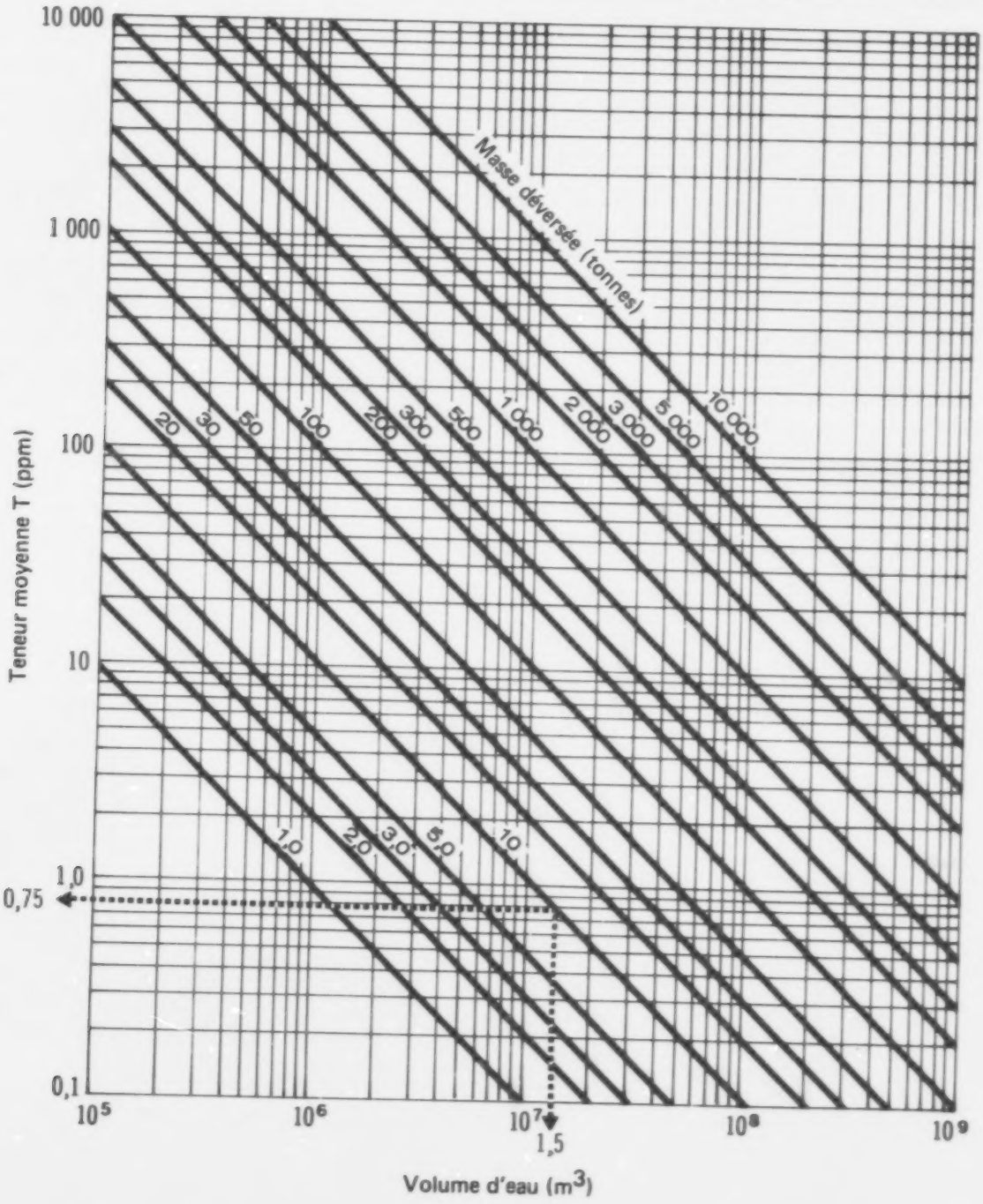


Figure 29

ACIDE NITRIQUE

TENEUR MOYENNE
EN FONCTION DU VOLUME D'EAU



Étape 6 Déterminer delta.

Comme α = 2000 et m = 10 tonnes, Δ = 5 (fig. 26).

Étape 7 Calculer la surface de la section mouillée.

$s = L \times h = 50 \times 5 = 250\ m^2$.

Étape 8 Déterminer la teneur maximale au point donné.

Comme Δ = 5 et $s = 250\ m^2$, T = 20 ppm (fig. 27).

5.4.3.2 Teneur moyenne en polluant dans les lacs au repos et autres plans d'eau. - Vingt tonnes d'acide nitrique titrant 50 p. 100 ont été déversées dans un lac. Le point qui nous intéresse se trouve le long de la rive, à environ 1000 m du lieu du déversement. Entre ce lieu et le point donné, la hauteur d'eau moyenne est de 5 m. Quelle est la teneur moyenne prévisible en ce point?

Étape 1 Déterminer les paramètres.

h = 5 m; r = 1000 m; m = 10 tonnes (en poids équivalent d'acide nitrique).

Étape 2 Déterminer le volume d'eau assurant la diffusion.

Comme r = 1000 m et h = 5 m, vol. = $1{,}5 \times 10^7\ m^3$ environ (fig. 28).

Étape 3 Déterminer la teneur moyenne.

Comme vol. = $1{,}5 \times 10^7\ m^3$ et m = 10 tonnes, T = 0,75 ppm (fig. 29).

5.5 Comportement dans le sol de surface et dans le sous-sol

5.5.1 Introduction. - Les lois de la migration des fluides dans le sol, ainsi que leur application dans le cadre de la collection "Enviroguide", sont exposées dans le *Manuel d'introduction Enviroguide*. Les éléments dont il faut tenir compte dans le cas du déversement et de la migration d'acide nitrique sont présentés dans les paragraphes qui suivent.

L'acide nitrique est transporté en diverses qualités titrant entre 52 et 98 p. 100 en poids. Déversé dans l'eau, il se mélange à celle-ci. Déversé sur le sol, il pénètre rapidement. Des précipitations au moment du déversement ou de l'eau utilisée pour nettoyer la surface du sol auront pour effet de diluer la solution et d'accélérer le mouvement de pénétration. Si le sol est saturé en eau au moment de l'accident, comme cela peut se produire à la suite de précipitations, la solution ruissellera ou formera une mare.

Dans la présente section, les auteurs ont attribué au sol une capacité normale d'humidité, dite capacité au champ. Le sol recèle alors très peu d'eau interstitielle susceptible de diluer le produit au cours de sa migration ou de freiner son mouvement descendant: il s'agit donc d'un scénario parmi les pires.

Au cours de sa migration, l'acide nitrique dissout une certaine quantité de matériaux constitutifs du sol, particulièrement les matériaux carbonatés. L'acide est alors neutralisé

jusqu'à un certain point, les ions hydrogènes H^+ étant également absorbés par les matériaux argileux. Une proportion considérable poursuit néanmoins sa migration vers la nappe phréatique. La présente section ne tient pas compte de ces facteurs retardateurs.

Lorsque le fluide atteint la nappe phréatique, il continue sa migration dans la direction de l'écoulement de l'eau de la nappe. Il forme une poche de solution polluée, au sein de laquelle les phénomènes de diffusion et de dilution contribuent à une certaine baisse de la teneur en polluant (fig. 30).

5.5.2 Migration du polluant dans un sol à capacité au champ. - Les équations et les postulats utilisés pour déterminer la migration du fluide dans la zone non saturée (à capacité au champ), jusqu'à la nappe phréatique, sont présentés dans le *Manuel d'introduction Enviroguide*. Les vitesses de migration font intervenir la loi de Darcy, alors que l'on pose comme hypothèse la formation d'une colonne saturée en solution polluée, par suite d'un écoulement en bloc (ou écoulement piston).

5.5.3 Coefficient de perméabilité d'un sol saturé vis-à-vis du polluant. - Le coefficient de perméabilité K_0 (ou conductivité hydraulique) mesure la perméabilité d'un sol saturé donné vis-à-vis d'un fluide donné. K_0, qui s'exprime en m/s, est donné par la formule suivante:

$$K_0 = \frac{(\rho g)\, k}{\mu}$$

où: k = perméabilité intrinsèque du sol (m^2)

ρ = masse volumique du fluide (kg/m^3)

μ = viscosité absolue du fluide (Pa . s)

g = accélération de la pesanteur = 9,81 m/s^2

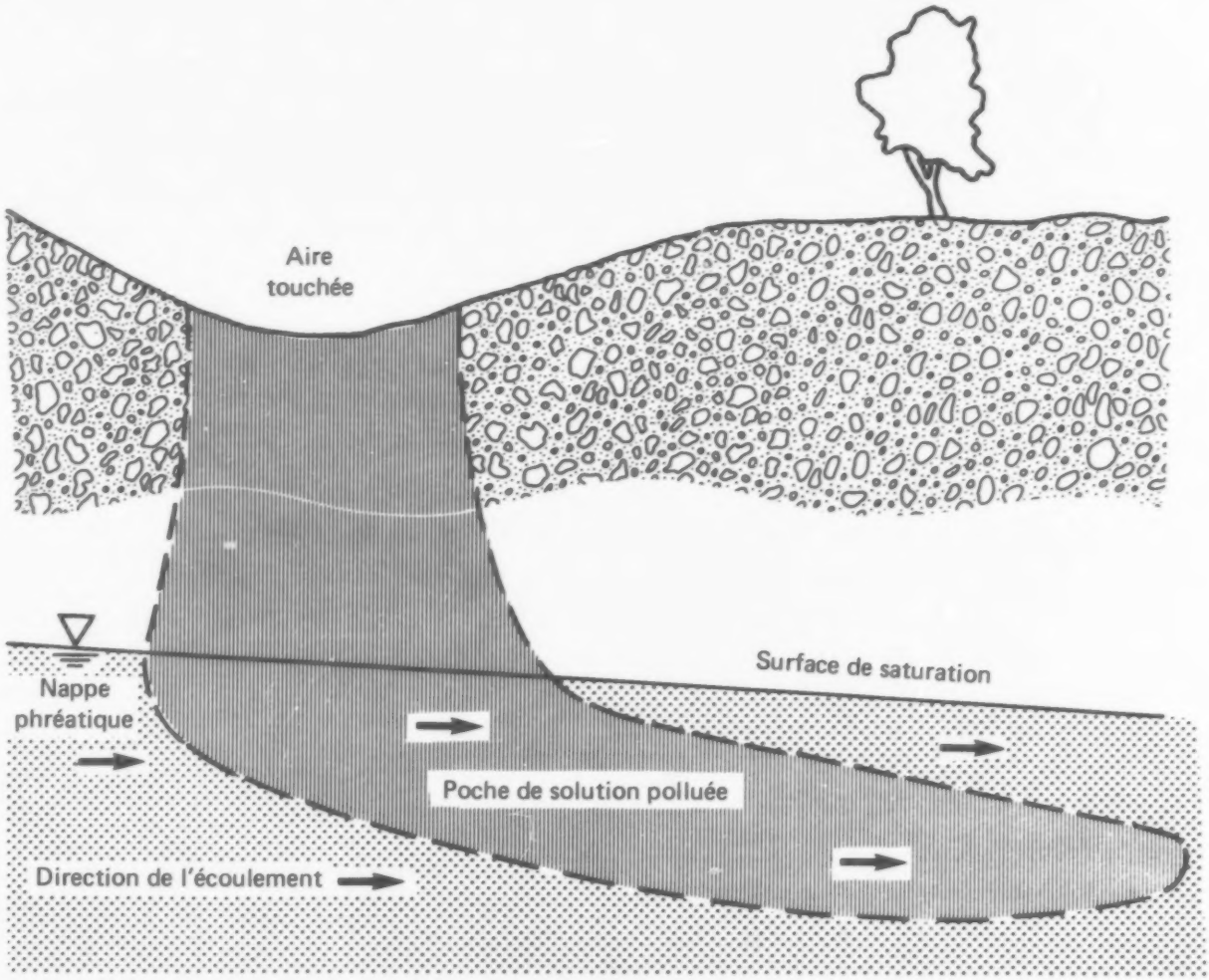
Dans le cas présent, les fluides migrant sont l'acide nitrique en solution titrant 60 et 10 p. 100 et l'eau. Les valeurs établies pour l'eau correspondent au point extrême de dilution de la solution.

Valeurs établies pour les fluides

	Acide nitrique			
	60 %		10 %	Eau
Paramètre	20 °C	4 °C	20 °C	20 °C
Masse volumique (kg/m^3)	1374	1400	1061	998
Viscosité absolue (Pa . s)	$2,4 \times 10^{-3}$	$3,2 \times 10^{-3}$	$1,23 \times 10^{-3}$	$1,0 \times 10^{-3}$
Coefficient de perméabilité d'un sol saturé (m/s)	$(0,56 \times 10^7)k$	$(0,43 \times 10^7)k$	$(0,84 \times 10^7)k$	$(0,98 \times 10^7)k$

Figure 30

ACIDE NITRIQUE — **MIGRATION DANS LE SOUS-SOL**



Sol: sable grossier
- porosité (n) = 0,35
- perméabilité intrinsèque $k = 10^{-9}\ m^2$
- capacité au champ = 0,075

5.5.4 Types de sol. - Le *Manuel d'introduction Enviroguide* décrit les trois types de sol retenus pour les besoins de la présente section. Le tableau ci-dessous présente les valeurs établies pour les paramètres qui influent sur la migration des fluides.

Valeurs établies pour les sols

Paramètre	Sable grossier	Sable limoneux	Till argileux
Porosité (m^3/m^3)	0,35	0,45	0,55
Perméabilité intrinsèque (m^2)	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}
Capacité au champ (m^3/m^3)	0,075	0,3	0,45

5.5.5 Nomogrammes de la migration. - Un nomogramme de la migration du fluide dans la couche de sol non saturée (c.-à-d. à capacité au champ) située au-dessus de la nappe phréatique a été préparé pour chaque type de sol mentionné. Chaque nomogramme montre la hauteur totale de migration h_m en fonction du temps de migration pour un volume donné de fluide déversé au sein d'une colonne de sol d'une superficie donnée. Vu les méthodes utilisées et les hypothèses posées, la profondeur atteinte par le fluide après un temps donné doit être considérée comme maximale. Le lecteur trouvera à la figure 31 le plan d'utilisation des nomogrammes présentés aux figures 32 à 34. La droite représentant la profondeur atteinte par l'eau à 20 °C indique une limite puisqu'elle correspond au point extrême de dilution de l'acide nitrique au contact de l'eau présente sur les lieux du déversement.

5.5.6 Exemple de calcul. - Vingt tonnes d'acide nitrique titrant 60 p. 100 se sont répandues sur un sol constitué de sable grossier. L'aire touchée a un rayon de 8,6 m. La température atteint 20 °C. Calculer la hauteur de migration atteinte par le fluide, 24 minutes après le début du déversement.

Étape 1 Déterminer la valeur des paramètres.

Masse de fluide déversée = 20 000 kg (20 tonnes)

Température = 20 °C

Rayon de l'aire touchée = 8,6 m

Type de sol = sable grossier

Profondeur de la surface de saturation = 13 m

Temps écoulé depuis le début du déversement = 24 minutes

Étape 2 Calculer l'aire touchée par le fluide.

Aire = πr^2 = 232 m^2

Étape 3 Évaluer la hauteur de migration après 24 minutes.

Hauteur de migration = 8,1 m

(La surface de saturation n'est pas atteinte.)

Figure 31

ACIDE NITRIQUE

PLAN D'UTILISATION DES NOMOGRAMMES

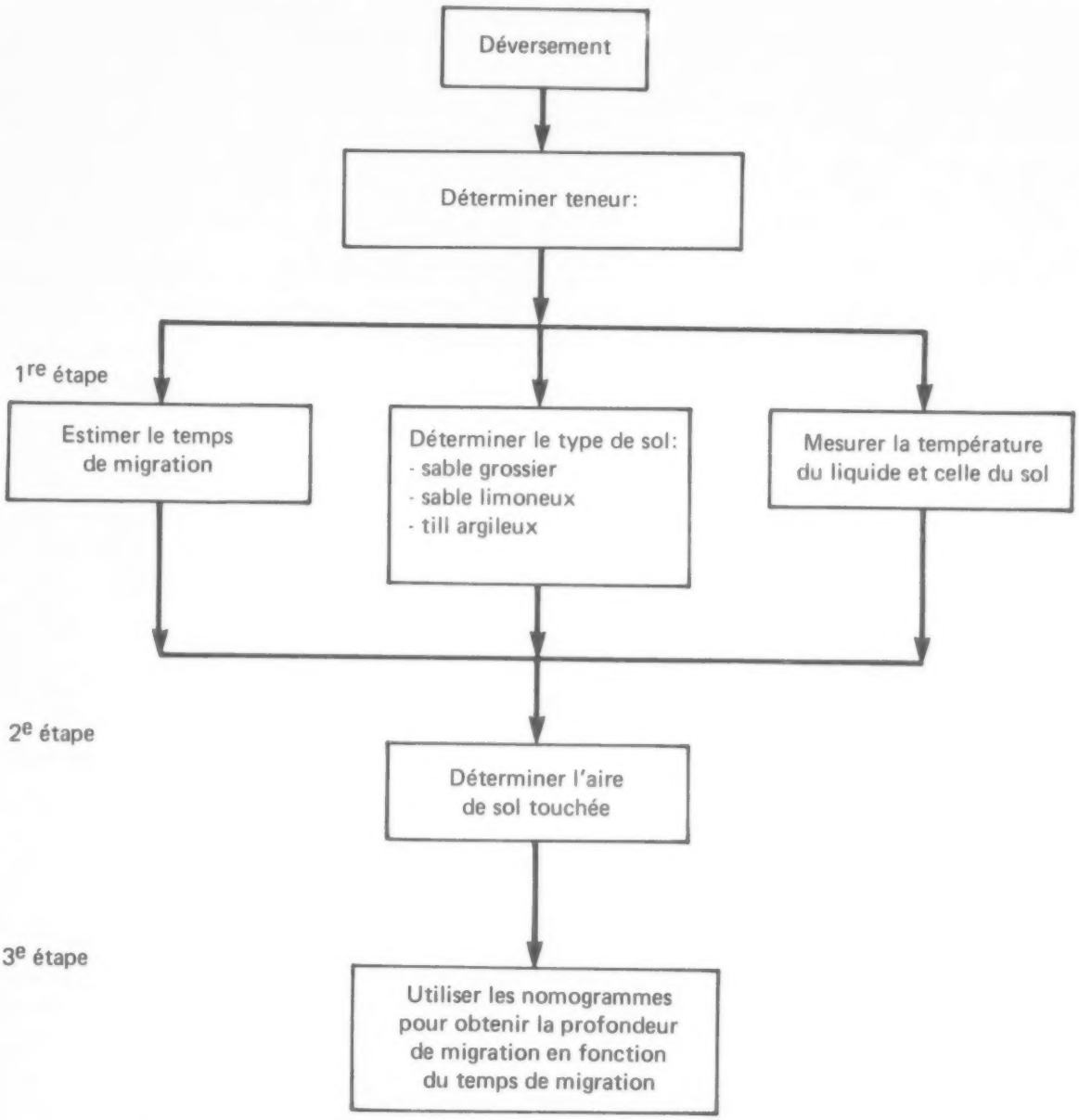


Figure 32

ACIDE NITRIQUE

MIGRATION DANS UN SOL GROSSIER

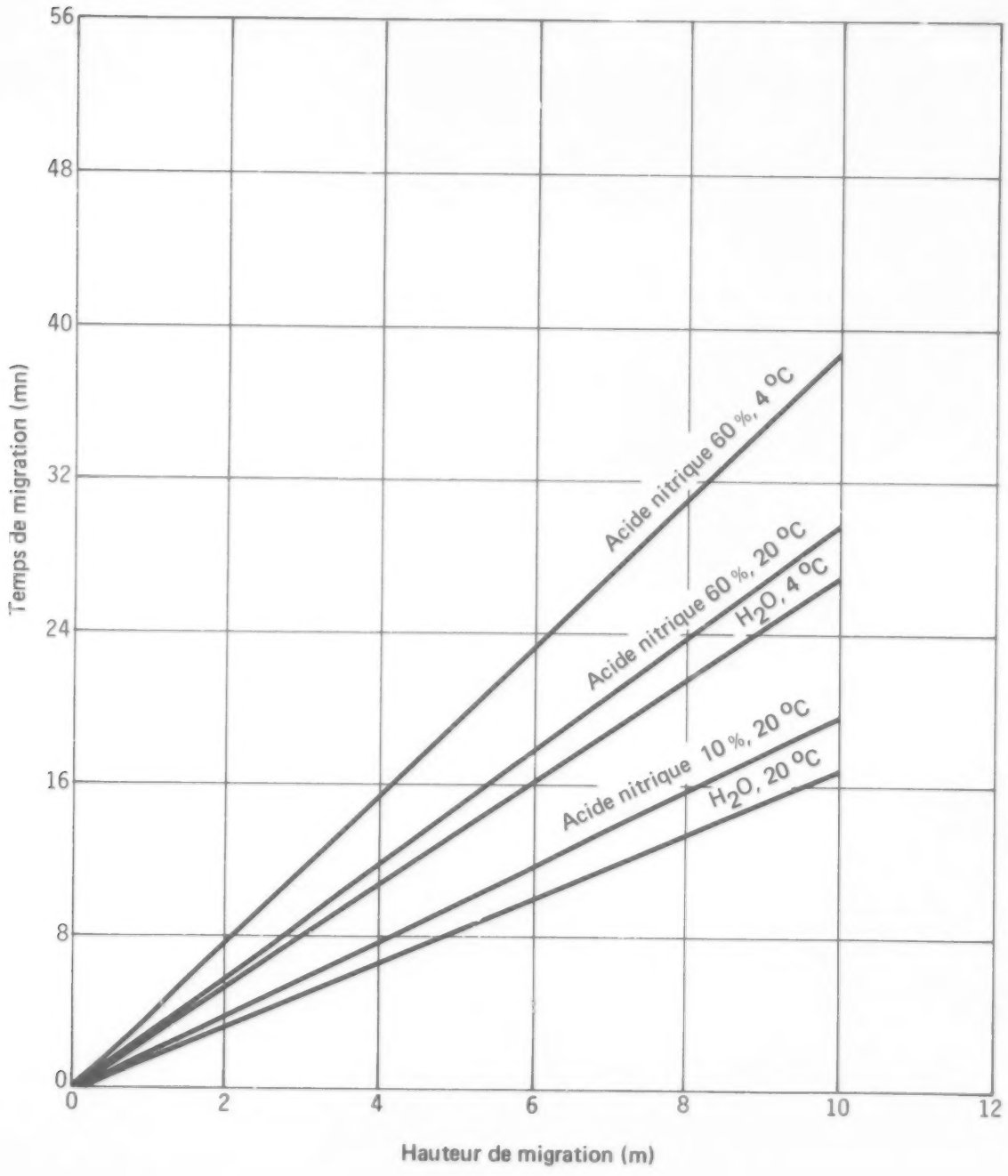


Figure 33

ACIDE NITRIQUE

MIGRATION DANS UN SOL LIMONEUX

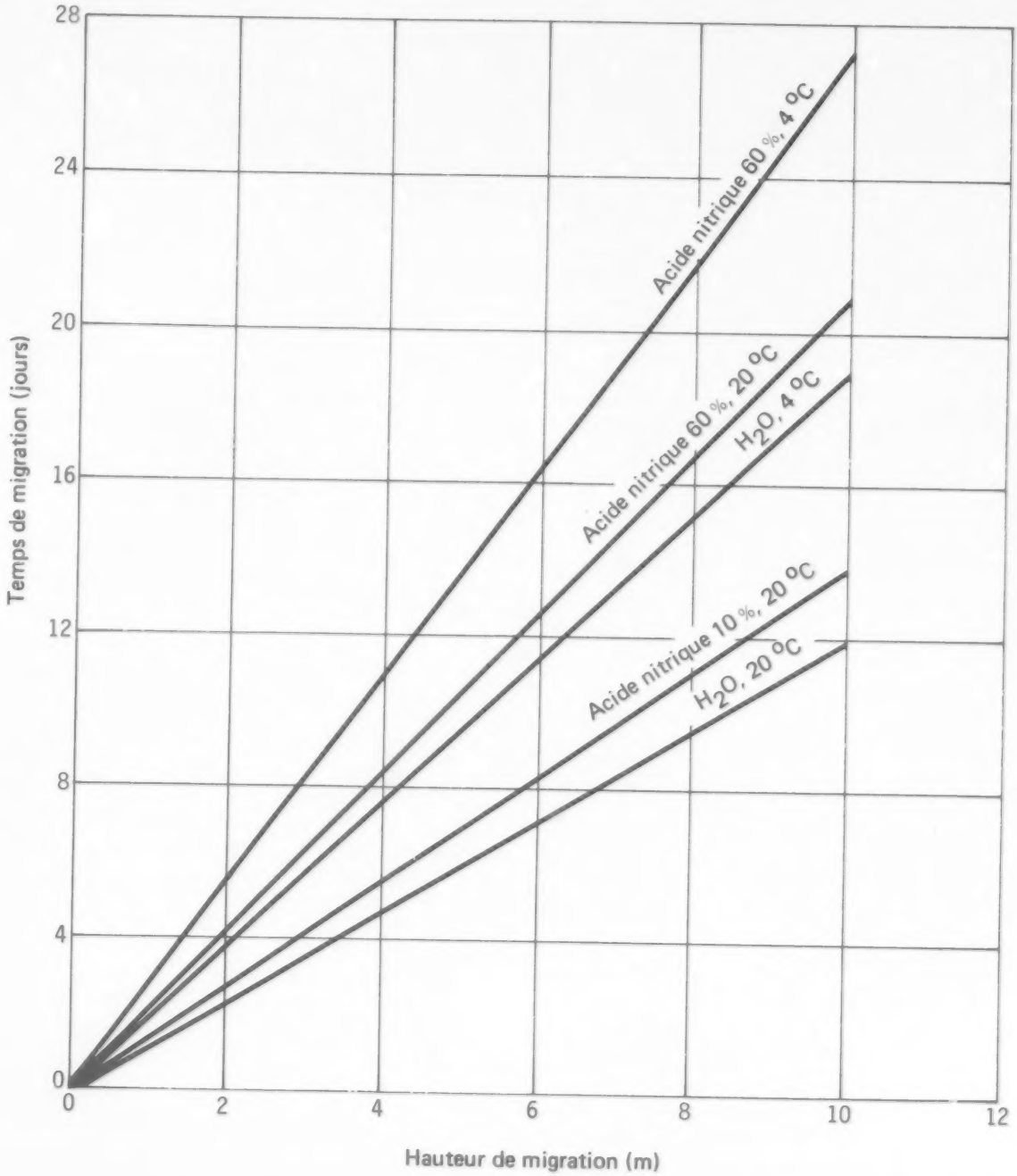
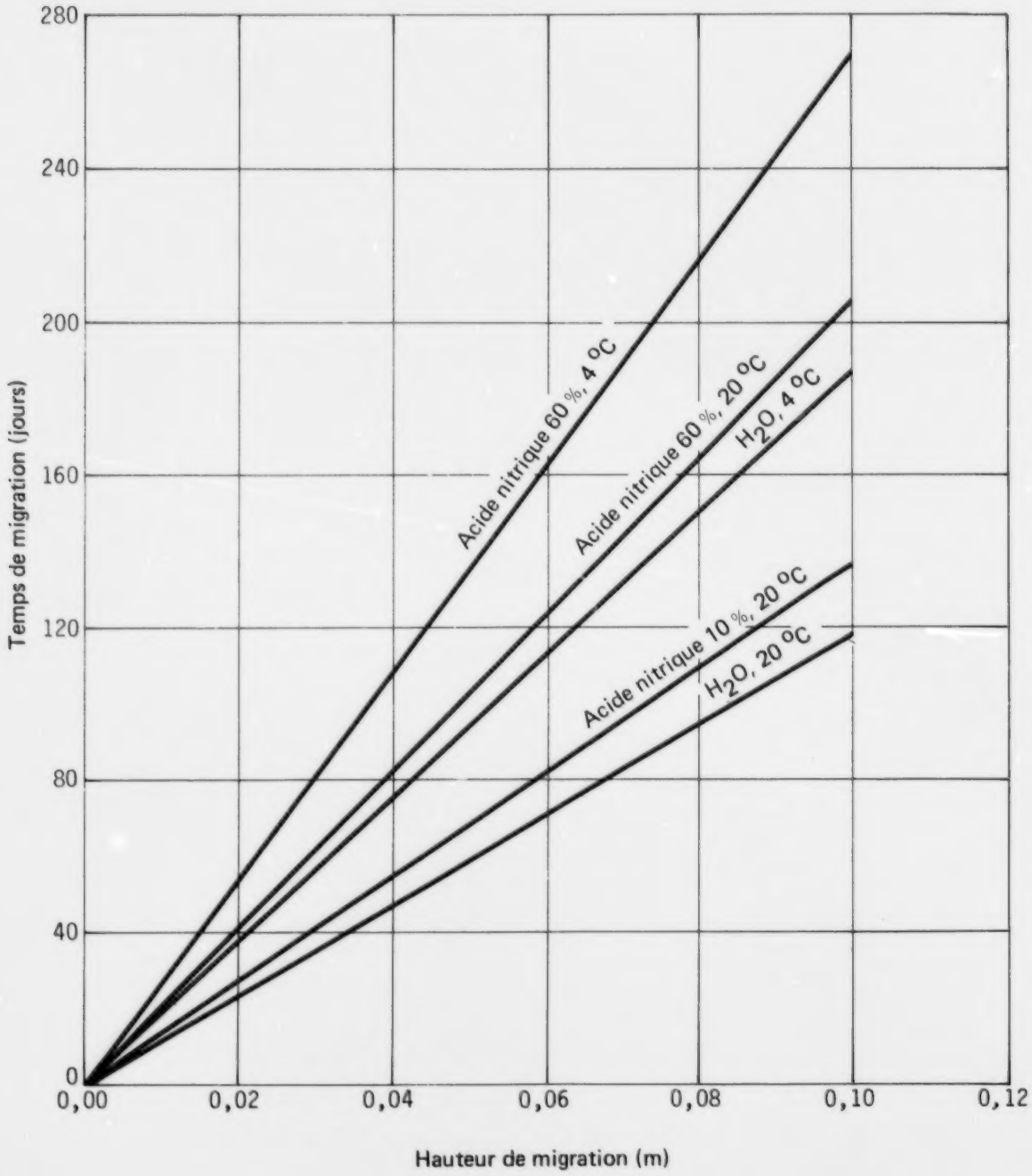


Figure 34

ACIDE NITRIQUE — MIGRATION DANS UN TILL ARGILEUX



6 PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

6.1 Limites maximales admissibles

6.1.1 Qualité de l'eau. - L'acide nitrique ne fait l'objet d'aucune réglementation spéciale au Canada; le gouvernement fédéral et de l'Ontario recommandent toutefois une teneur limite de 10 mg de nitrates (sous forme d'azote) par litre, et un pH minimum de 6,5 (Guidelines/Canadian/Waters, 1978; *Water Management Goals*, 1978). Aux États-Unis, on recommande également une teneur maximale en nitrates (sous forme d'azote) de 10 ppm (*Drinking Water Standards*, 1973).

6.1.2 Qualité de l'air. - En Ontario, la teneur admissible pour l'environnement (teneur moyenne sur 30 mn après la retombée au sol) a été fixée à 100 µg d'acide nitrique par mètre cube d'air (*Ontario Environmental Protection Act*, 1971).

6.2 Toxicité pour les espèces aquatiques

6.2.1 Évaluation de la toxicité aux États-Unis. - On a attribué à l'acide nitrique une TLm 96 de 10 à 100 ppm (RTECS, 1979).

6.2.2 Mesures de la toxicité

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Effet(s) observé(s)	Conditions	Source
			A. Poissons		
750	0,50 à 0,84	Poisson doré	Létal	Eau dure, pH 3	Ellis, 1937 OHM-TADS, 1981
pH 4,4	7	Ménés (*Phoxinus phoxinus*)	Temps de survie	-	Jones, 1969
pH 4,6	7 à 7,5	*Idem*	Temps de survie	-	*Ibidem*
pH 4,8	7,5	*Idem*	Temps de survie	-	*Ibidem*
pH 5,0	27,5 - 21	*Idem*	Temps de survie	-	*Ibidem*
pH 5,2 à 5,8	> 30 j	*Idem*	Aucun effet	-	*Ibidem*
			B. Essais en eau douce		
1,6	Non spécifiée	Truite	Toxique		WQC, 1963

Teneur (mg/l)	Durée (h)	Espèce	Effet(s) observé(s)	Conditions	Source
15,6	24	Truite	Toxique		WQC, 1963
72	96	Gambusie	TLm	Eau trouble, pH 6,2	WQC, 1963
1000	0,5	Truite	Toxique	Eau du robinet	WQC, 1963
20		Carpe, poisson doré	Aucun effet nocif		WQC, 1963
200	> 96	Poisson doré	Aucun effet nocif	pH 4,9	WQC, 1963
			C. Micro-organismes		
107	Non précisée	Daphnie	Seuil d'immobilisation	-	WQC, 1963
			D. Invertébrés (eau salée)		
180	48	Crabe enragé	TL 50	Essai statique, eau aérée	WQCDB-5, 1973
330 à 1000	48	Coque	TL 50	Eau aérée	Portman, 1970
100 à 330	48	Étoile de mer	TL 50	Eau aérée	Portman, 1970
100 à 330	48	Chabot	TL 50	Essai statique, eau aérée	OHM-TADS, 1981
100 à 330	48		TL 50	Eau aérée	OHM-TADS, 1981

6.3 Toxicité pour les espèces terrestres et aériennes

L'acide nitrique est toxique pour toutes les espèces, les nitrates constituant une menace pour les animaux même s'ils ont été neutralisés (OHM-TADS, 1981).

6.4 Études sur les effets toxiques

6.4.1 Effets liés au pH. - Les nombreuses études sur les dépôts acides ont permis de bien connaître les effets du pH sur le milieu aquatique. On sait par exemple qu'un abaissement rapide du pH dans un plan d'eau entraîne une hécatombe chez les poissons. Tel serait le cas après un déversement d'acide nitrique. On connaît également très bien les effets d'une

diminution graduelle du pH: notamment diminution des populations de poissons et baisse de la productivité primaire du phytoplancton. Dans les plans d'eau ayant un faible pouvoir tampon, la variation d'abondance du phytoplancton réduit encore plus la disponibilité des substances nutritives en raison de la plus faible reminéralisation des détritus. L'étendue des dommages en cas de déversement d'acide nitrique sera bien entendu fonction de la quantité de produit déversée, du pouvoir tampon du plan d'eau, de la vitesse de dilution et du temps qu'il faudra à l'équipe d'intervention pour neutraliser le produit et procéder au nettoyage des lieux.

En général, un pH inférieur à 5 est mortel pour la plupart des poissons. Certaines espèces seront plus résistantes que d'autres et leur stade de développement joue également un rôle. Une étude conduite en Norvège indique que dans la fourchette de niveau d'acidité 5,0 à 5,5, il y a une augmentation rapide du pourcentage de lacs dépourvus de poissons. On ne sait pas au juste quels sont les mécanismes en jeu dans les effets du pH sur les poissons; cependant, on soupçonne fortement une interférence avec le métabolisme du calcium, du sodium et d'autres éléments. Les invertébrés sont également menacés si le pH tombe au-dessous de 5. Comme ces organismes constituent un élément important des réseaux alimentaires aquatiques, les écosystèmes aquatiques se trouveraient sérieusement menacés lorsque le pH d'un plan d'eau baisse à 5 et moins pour une période prolongée. Il existe peu de données relativement aux effets du pH sur les algues, mais tout porte à croire qu'un faible pH favoriserait les espèces normalement absentes en raison du manque de dioxyde de carbone libre. À des pH inférieurs à 4,5, la croissance de la plupart des espèces serait réduite et il y aurait des proliférations erratiques de quelques espèces adaptées. Le lecteur trouvera au chapitre 6 des Enviroguides consacrés à l'acide sulfurique et l'oléum, le chlorure d'hydrogène et l'acide chlorhydrique, d'autres commentaires et données sur les effets du pH.

Effets de faibles pH sur les poissons*

pH	Effets
5,0 à 6,0	Sans effet à moins d'une teneur en O_2 supérieure à 20 ppm ou de teneurs élevées en hydroxyde de fer.
5,5 à 6,0	Le touladi de l'est survit; disparition des truites arc-en-ciel; taux de croissance de la carpe réduit; le frai est réduit; les mollusques sont rares.
5,0 à 5,5	Populations moins nombreuses mais le milieu n'est pas létal; peut l'être pour les oeufs et les larves et certains invertébrés; des algues et des plantes d'ordre supérieur apparaissent.
4,5 à 5,0	Nocif pour les oeufs et le frai des salmonidés. Nocif pour la carpe commune; limite de tolérance pour la plupart des poissons; létal pour certains invertébrés.

pH	Effets
4,0 - 4,5	Nocif pour les salmonidés, les tanches, les brèmes, les gardons, les dorades et les carpes communes; résistance accrue avec l'âge. Le brochet peut se reproduire mais non la perche, la brème et le gardon.
3,5 - 4,0	Létal pour les salmonidés. Le gardon, la tanche, la perche, et le brochet survivent; toute la flore et la faune sont fortement restreintes.
3,0 - 3,5	Toxique pour la plupart des poissons; certaines plantes et certains invertébrés survivent.

*Tiré de WQC, 1972; Beamish, 1976; Grahn, 1974; Gorham, 1963; NRC, 1978; Likens, 1976; Hendry, 1976; Giddings, 1976; Moss, 1973a, b; EIFAC, 1969.

6.4.2 Effets des nitrates (NO_3). - Les nitrates peuvent avoir des effets aussi bien bénéfiques que nuisibles pour l'environnement. L'azote est une substance nutritive essentielle à l'activité biotique; cependant, dans certains écosystèmes naturels comme les lacs et les estuaires, l'apport d'azote peut contribuer à l'eutrophisation. L'introduction de nitrates sous forme d'acide nitrique ne fait pas qu'accroître la teneur en nitrates d'un plan d'eau; elle l'acidifie également. L'eutrophisation des eaux de surface modifie la qualité de l'eau et entraîne des changements comme la prolifération d'algues, l'épuisement de l'oxygène dissous des eaux profondes, une augmentation de la turbidité, la disparition des espèces comestibles, en eau froide; les chaînes alimentaires sont raccourcies et il y a prédominance des poissons à chair dure. L'azote semble être un nutriant limitatif dans certaines eaux côtières marines; l'apport de nitrates dans ces systèmes stimule la production primaire et peut entraîner des changements chez les espèces dominantes de plantes. L'apparition d'une végétation exhubérante conduit à l'eutrophisation du plan d'eau et finalement à la détérioration de la qualité de l'eau. En général, la contribution des nitrates à l'eutrophisation est incertaine en raison du manque de données pertinentes sur les apports en nitrates proprement dits et de la facilité avec laquelle ils passent d'une forme azotée à l'autre. On peut cependant dire sans crainte de se tromper qu'en cas d'un déversement d'acide nitrique, l'effet relatif des nitrates dans l'eau ou dans le sol sera beaucoup moins préoccupant que le choc acide en résultant (NRC, 1978; Brezonick, 1969).

L'ion nitrate est toxique pour les animaux. La limite de toxicité chronique pour les animaux est de 200 ppm (seuil pour NO_3^-); la teneur toxique pour le bétail est établie à 400 ppm (NO_3^- étant le facteur limitant) (OHM-TADS, 1981).

6.5 Dégradation du polluant

Dans certaines eaux, l'acide nitrique peut être neutralisé lentement par les minéraux responsables de la dureté de l'eau (Ca et Mg). L'ion nitrate peut cependant persister plus longtemps, mais comme c'est une substance nutritive pour les plantes, il finira par disparaître. Un pH faible peut nuire à la coagulation lors du traitement des eaux (OHM-TADS, 1981).

6.6 Devenir et effets à long terme

Des teneurs élevées en nitrates stimulent la croissance du plancton et des algues aquatiques et favorisent donc la production des poissons (WQC 1963). Une trop grande prolifération des algues peut causer l'eutrophisation (OHM-TADS, 1981).

7 PROTECTION DE LA SANTÉ

L'acide nitrique est un irritant puissant pour les yeux, la peau et les muqueuses, et peut causer de graves brûlures et corroder les tissus. Il est également très corrosif pour les dents. Il est signalé comme étant l'un des plus dangereux des acides minéraux du fait qu'il n'enclenche pas un violent réflexe respiratoire qui sert d'avertissement (TDB (on-line), 1981).

La toxicité de ce composé a été réévaluée récemment par le NIOSH (NIOSH, 1976). La documentation ne contient aucune donnée sur le potentiel tératogène, mutagène ou cancérogène de l'acide nitrique. Ce composé figure dans l'inventaire TSCA de l'EPA.

Les données toxicologiques présentées ci-après sont extraites de sources reconnues et dignes de confiance. Il est à noter que certaines données valent pour des expositions de longue durée, à de faibles teneurs, de sorte qu'elles ne s'appliquent pas nécessairement aux cas de déversement. À l'exception des données portant sur la mutagénicité, la tératogénicité et la cancérogénicité, seules les données sur l'exposition de courte durée obtenues avec des mammifères autres que l'homme sont indiquées pour étayer l'interprétation des données relatives à l'homme, le cas échéant.

7.1 Normes de qualité d'air ambiant

Les normes de qualité d'air ambiant pour l'acide nitrique sont basées sur son action irritante pour la peau, le nez, les poumons et les yeux et sur ses effets corrosifs pour les dents. Il est possible que ces normes de qualité ne puissent empêcher la potentialisation des effets du peroxyde d'azote (Doc. TLV, 1981). Au Canada, les directives des provinces sont généralement semblables à celles qui sont élaborées par l'ACGIH aux États-Unis, à moins d'indication contraire.

Teneur maximale admissible

Norme	Origine	Teneur	Source
	Moyenne pondérée en fonction du temps		
TLV® (8 h)	USA-ACGIH	2 ppm (5 mg/m^3)	TLV, 1983
PEL (8 h)	USA-OSHA	2 ppm	NIOSH/OSHA, 1981
MPT (10 h)	USA-NIOSH	2 ppm (5 mg/m^3)	NIOSH, 1976
	Exposition de courte durée		
STEL (15 mn)	USA-ACGIH	4 ppm (10 mg/m^3)	TLV, 1983

En plus des normes ci-dessus, nous avons trouvé dans la documentation différentes valeurs se rapportant à la toxicité de l'acide nitrique pour l'homme, soit:

Notion	Origine	Teneur	Source
IDLH	USA-NIOSH/OSHA	100 ppm	NIOSH guide, 1978
DL min. (voie orale)	-	430 mg/kg	RTECS, 1979
Dose mortelle	-	1 c. à thé à 1/2 oz d'acide nitrique concentré; à noter que quelques gouttes seulement peuvent être mortelles si elles passent dans la trachée	TDB (on-line), 1981

Indice de toxicité par inhalation. - L'indice de toxicité par inhalation (I.T.I.) représente une mesure de la capacité d'une substance à causer un dommage à la suite d'une inhalation. On le calcule de la façon suivante:

I.T.I. = 1315,12 (tension de vapeur en mm de Hg/TLV®)

à 20 °C, I.T.I. = 1315,12 (48 mm de Hg/2 ppm)

à 20 °C, I.T.I. = $3,15 \times 10^4$

7.2 Données sur l'action irritante

7.2.1 Contact avec la peau

Exposition	Effets	Source
• CHEZ L'HOMME		
Acide concentré	Comme il est corrosif, il détruit les tissus; brûlures de la peau; décoloration de la peau lors de contact avec l'acide faiblement concentré	McAdams and Krop, 1955; Fairhall, 1957. Dans NIOSH, 1976
Solution diluée	Légère irritation cutanée; tend à durcir l'épithélium sans toutefois l'attaquer	Fairhall, 1957. Dans NIOSH, 1976
Non précisée	Brûlures	Rambousek, 1913. Dans NIOSH, 1976
Non précisée	Ulcères	NIOSH/OSHA, 1981
Non précisée	Irritation locale; la peau jaunit; graves brûlures; nécrose	ITII, 1981

7.2.2 Contact avec les yeux

Exposition	Effets	Source
• CHEZ L'HOMME		
Non précisée	L'acide nitrique concentré provoque l'opacification immédiate de la cornée et de la conjonctive	Grant, 1962. Dans NIOSH, 1976
Non précisée	Dans les cas graves, peut causer une opacification permanente de la cornée, avec, comme conséquences possibles, la cécité, la soudure des paupières au globe oculaire (symblépharon), le pemphigus oculaire	Ask, 1925. Dans NIOSH, 1976
Non précisée	Conjonctivite, ulcères cornéens, brûlures et nécrose des tissus de l'oeil	ITII, 1981

7.3 Données sur les propriétés organoleptiques

7.3.1 Odeur. - Âcre (Du Pont, 1980). Âcre, suffocante (CCD, 1977).

7.3.2 Saveur

Paramètre	Milieu	Teneur	Source
Seuil de détection	Eau	1×10^{-3} 0,001 *N*	ASTM, 1980

7.4 Études sur les effets toxiques

7.4.1 Inhalation

Exposition	Effets	Source
• CHEZ L'HOMME		
2 à 25 ppm (8 h)	Irritation pulmonaire et symptômes de lésions pulmonaires	GE, 1980
Non précisée	Irritation des voies respiratoires plus ou moins prononcée, pouvant se manifester immédiatement ou non. Les symptômes immédiats incluaient: sécheresse de la gorge, et du nez, toux, douleurs thoraciques, et dyspnée. Dans certains cas, les symptômes ne sont apparus que 24 h après l'exposition	Halland, Cooper, 1905; Zadek, 1916; Schussler, 1935. Dans NIOSH, 1976

Exposition	Effets	Source
Non précisée	Oedème pulmonaire	Schussler, 1935. Dans NIOSH, 1976
Non précisée	Deux cas. Durant l'exposition et immédiatement après, les sujets présentaient des symptômes de troubles respiratoires mineurs, suivis de cyanose grave, de dyspnée, de douleur thoracique et de toux. L'un des sujets est décédé environ 1 semaine plus tard.	Ask, 1925. Dans NIOSH, 1976
• CHEZ LE RAT		
244 ppm (sous forme de NO_2) (30 mn)	TL 50. Exposition à de l'acide nitrique fumant blanc (0,1 à 0,4 p. 100 de NO_2)	RTECS, 1979
138 ppm (sous forme de NO_2) (30 mn)	TL 50. Exposition à de l'acide nitrique fumant rouge (8 à 17 p. 100 de NO_2)	NIOSH, 1976
65 ppm (sous forme de NO_2) (4 h)	TL 50. Exposition à de l'acide nitrique fumant rouge	RTECS, 1979
25 ppm (vapeurs de HNO_3) - exposition unique	Aucun effet observé	NIOSH, 1976
• CHEZ LA SOURIS		
244 ppm (30 mn)	TL 50. Exposition à de l'acide nitrique fumant blanc	RTECS, 1979
67 ppm (4 h)	TL 50. Exposition à de l'acide nitrique fumant rouge	RTECS, 1979
	Toxicité chronique	
• CHEZ L'HOMME		
Non précisée	Peut à la longue causer une bronchite chronique; une exposition soutenue peut causer une pneumonie chimique. Ces effets ne sont pas très bien établis étant donné que la documentation ne contient aucune étude sur l'exposition aux vapeurs d'acide nitrique lui-même; il en existe par contre sur l'exposition aux vapeurs et gaz résultant de la décomposition de l'acide nitrique	Fairhall, 1957. Dans NIOSH, 1976.

Exposition	Effets	Source
• CHEZ LE RAT, LA SOURIS, LE COBAYE		
17 000 et 26 000 µg/m^3 (9 et 14 ppm, 4 h/j, 5 j/semaine, pendant 6 semaines)	L'examen des poumons a révélé une incidence accrue des changements pathologiques	Gray, 1952. Dans USEPA, 1978

7.4.2 Ingestion. - L'ingestion d'acide nitrique entraîne la destruction immédiate des tissus, accompagnée d'effets secondaires qui peuvent causer la mort du sujet dans une période relativement courte. L'ingestion de grandes quantités d'ions nitrate en solution aqueuse (NO_3^-) cause de la méthémoglobinémie (accumulation pathologique de méthémoglobine dans les globules rouges), caractérisée par la cyanose et l'anoxie consécutive au transport défectueux de l'oxygène par le sang en raison des teneurs élevées en méthémoglobine circulante. La méthémoglobine est une hémoglobine dont l'atome de fer est à l'état ferrique (Fe^{3+}) et qui empêche l'oxygène de se lier de façon réversible aux globules rouges du sang. Étant donné que l'ion nitrate reste après la neutralisation de l'acide nitrique, on a jugé utile d'en parler dans le présent guide. L'ion nitrate est converti en ion nitrite (NO_2^-) par les bactéries présentes dans la salive chez l'homme. Les ruminants sont extrêmement sensibles aux effets toxiques des nitrates, probablement à cause de leur plus longue période de rétention et la plus grande possibilité de réduction dans la panse. Le rôle d'un surplus de nitrates dans le cycle de l'azote est bien connu mais dans le cas présent, la question serait hors contexte (NRC, 1981).

Exposition	Effets	Source
	A. Toxicité aiguë	
• CHEZ L'HOMME		
1/2 tasse	Tentative de suicide; le sujet a survécu mais a souffert quelques années plus tard d'anémie pernicieuse, attribuée à la destruction de la muqueuse gastrique et conséquemment de la fonction sécrétrice de celle-ci.	Alsted, 1937. Dans NIOSH, 1976
< 30 ml	Le sujet est décédé 2 semaines après s'être gargarisé avec de l'acide nitrique. Il en avait avalé un peu. Hémorragie gastrique et destruction de la muqueuse oesophagienne.	Holinger et al., 1953. Dans NIOSH, 1976

Exposition	Effets	Source
1 c. à thé à 1/2 oz	Dose d'acide nitrique mortelle pour les adultes. À noter que quelques gouttes seulement peuvent être mortelles si l'acide pénètre dans la trachée.	TDB (on-line), 1981
2 à 4 g (sous forme de NO_3^-)	Dose toxique (on entend par là une dose unique qui provoquera la méthémoglobinémie)	NRC, 1981
• CHEZ LE RAT		
Solution à 1 p. 100 de HNO_3 (0,15 ml) (injection intra-trachéale)	24 h après l'injection, on observait une inflammation accentuée des bronchioles, l'épithélium avait perdu son aspect festonné normal. Cytoplasme des cellules épithéliales plus volumineux. Inflammation des septa inter-alvéolaires. Aucune différence dans le poids humide et sec des poumons. Le HNO_3 a activé l'absorption de l'acide *p*-amino-hippurique, de l'éthyle bromure de procaïnamide, du procaïnamide et du mannitol.	Gardiner, 1976. Dans USEPA, 1978
	B. Toxicité chronique	
• CHEZ LA SOURIS		
12 300 mg/l sous forme de $NaNO_3$, dans de l'eau distillée, pendant 25 semaines	L'incidence de tumeurs du poumon était identique pour le groupe d'animaux testés et le groupe témoin. Les souris furent sacrifiées 13 semaines après la fin de l'expérience.	NRC, 1981
25 000 et 50 000 mg sous forme de $NaNO_3$/kg de nourriture, pour la vie durant	Aucune différence significative en ce qui concerne l'incidence des tumeurs entre les animaux testés et les témoins.	NRC, 1981
40 mg (sous forme de $NaNO_3$) par jour dans l'eau (84 semaines) (15 mâles, 15 femelles)	Plus forte incidence d'adénomes hypophysaires chez les femelles testées, pas statistiquement significative toutefois. Les souris furent sacrifiées 20 semaines après la fin de l'expérience.	NRC, 1981

Exposition	Effets	Source
• CHEZ LE RAT		
10 000 mg $NaNO_3$/kg dans la nourriture (2 ans)	Niveau sans effet toxique	NRC, 1981
50 000 mg de NaNO/kg dans la nourriture (2 ans)	Croissance légèrement retardée	NRC, 1981
• CHEZ LE CHIEN		
20 000 mg de $NaNO_3$/kg dans la nourriture, pendant 105 à 125 j	Niveau sans effet toxique	NRC, 1981

7.4.3 Érosion de l'émail et de la dentine

Exposition	Effets	Source
• CHEZ L'HOMME		
Non précisée	783 ouvriers ont été examinés. Sur ce nombre, 32 seulement avaient été exposés à l'acide nitrique seul. Chez ces derniers, on a constaté une érosion active de l'émail et de la dentine chez 9 p. 100 alors que dans le groupe témoin de 293 ouvriers non exposés, on n'en a pas décelé un seul cas.	NIOSH, 1976
Non précisée	26 ouvriers sur 31 d'examinés présentaient des signes d'érosion de l'émail et de la dentine. Sur les cinq autres, quatre travaillaient dans l'entreprise depuis moins d'un an.	Dettling, 1935. Dans NIOSH, 1976

7.4.4 Mutagénicité, tératogénicité et cancérogénicité. - Il n'y a pas de données prouvant que les nitrates (NO_3^-) sont cancérogènes ou qu'ils ont une action mutagène directe. Tout porte à croire cependant que les nitrates sont réduits en nitrites (NO_2^-) par les bactéries contenues dans la salive, chez l'homme. Les nitrites, ainsi que les nitrosamines, semblent être plus directement reliés à la cancérogénicité et à la mutagénicité (NRC, 1981). Nous n'avons trouvé aucune donnée sur la tératogénicité.

7.5 Symptômes et conséquences de l'intoxication

Aucune source n'est indiquée dans le cas de symptômes de nature courante mentionnés dans la plupart des ouvrages de référence. Seuls les symptômes ou troubles de nature particulière ou inhabituelle sont référencés.

7.5.1 Inhalation

1. Irritation des muqueuses et des voies respiratoires.
2. Sécheresse de la gorge et du nez (NIOSH, 1976).
3. Toux.
4. Douleur thoracique.
5. Malaise (NIOSH, 1976).
6. Érosion de l'émail et de la dentine.
7. Dyspnée.
8. Cyanose.
9. Oedème pulmonaire (NIOSH, 1976).
10. Bronchopneumonie.
11. Fibrose pulmonaire.
12. Pneumonie chimique (Doc. TLV, 1981).
13. Coma (TDB (on-line), 1981).
14. Convulsions (TDB (on-line), 1981).
15. Décès.

7.5.2 Ingestion

1. Vomissements.
2. Coliques.
3. Effet purgatif (TDB (on-line), 1981).
4. Sensibilité abdominale (TDB (on-line), 1981).
5. Langue rude et enflée (TDB (on-line), 1981).
6. Atteinte des voies respiratoires rendant la parole et la déglutition extrêmement douloureuses (TDB (on-line), 1981).
7. Graves lésions à la bouche, au pharynx, à l'oesophage et à l'estomac.
8. Prostration (TDB (on-line), 1981).
9. État de choc profond.
10. Décès.

7.5.3 Contact avec la peau

1. Irritation.
2. Durcissement de l'épithélium (NIOSH, 1976).

3. Jaunissement de la peau.
4. Ulcères.
5. Brûlures.
6. Nécrose.

7.5.4 Contact avec les yeux

1. Irritation.
2. Conjonctivite.
3. Opacité de la cornée.
4. Opacité de l'épithélium conjonctival (NIOSH, 1976).
5. Brûlures.
6. Soudure des paupières au globe oculaire et pemphigus oculaire (NIOSH, 1976).
7. Cécité.

7.6 Toxicité des produits de décomposition ou de combustion, pour l'homme

L'acide nitrique solide est stable. À l'état liquide, il se décompose à différents degrés dès que le point de fusion est atteint. Il en va de même pour l'acide nitrique gazeux. Bien que plus stable que le liquide pur, l'acide nitrique en solution aqueuse passe graduellement du jaune au brun, indiquant la présence de peroxyde d'azote (NO_2). Une certaine dégradation de l'acide nitrique en solution aqueuse peut être attribuée à la décomposition photochimique. Les acides fumants libèrent des vapeurs de peroxyde d'azote (Kirk-Othmer, 1981; Bailar, 1973; CPIA, 1970). D'autres références font mention du dégagement de fumées acides lors de la réaction de l'acide nitrique avec diverses matières, notamment les métaux (Ashland MSDS, 1977; NIOSH, 1976). On ne précise pas la nature des fumées mais il s'agit certainement d'oxydes d'azote. On considère que le principal produit de la décomposition est le peroxyde d'azote (NO_2), mais des quantités diverses d'oxyde nitrique (NO) et de tétroxyde d'azote (N_2O_4) peuvent également être présentes.

7.6.1 Oxyde nitrique, peroxyde d'azote et tétroxyde d'azote. - L'oxyde nitrique est un gaz incolore d'odeur douce et piquante. Il se lie avec l'hémoglobine qui est oxydée dans le sang en méthémoglobine, ce qui cause l'anoxie. L'oxyde nitrique n'étant que légèrement irritant pour les voies respiratoires et les yeux, des quantités dangereuses de fumées peuvent être inhalées avant que la personne ressente un malaise (Sax, 1968). Dans l'air, l'oxyde nitrique est oxydé en peroxyde d'azote 4 à 5 fois plus toxique que l'oxyde nitrique (Patty, 1963). La TLV® de l'oxyde nitrique est de 25 ppm (8 h - MPT) et de 35 ppm (STEL) (TLV, 1983).

À des températures normales, le peroxyde d'azote et le tétroxyde d'azote coexistent toujours, dans une proportion NO_2/N_2O_4 de 3:7 à 37,5 °C (Sax, 1968). Aux températures

élevées, la proportion de NO_2 augmente. Ces mélanges, souvent appelés peroxyde d'azote, sont rouge-brun et d'odeur âcre et irritante, tandis que le tétroxyde d'azote est incolore. La décomposition thermique du peroxyde d'azote en oxyde azotique et en oxygène commence à 150 °C pour se terminer à 600 °C (Cotton, 1972). Le peroxyde d'azote est faiblement irritant pour les yeux, le nez et les muqueuses des voies respiratoires supérieures si bien qu'on peut inhaler des quantités dangereuses de ce corps avant de ressentir un malaise. Le peroxyde d'azote réagit avec l'eau pour former des acides nitriques et nitreux; ce dernier se décompose pour former de l'acide nitrique, de l'oxyde azotique et de l'eau, spécialement lorsqu'il est chauffé (Cotton, 1972). Ces acides sont formés profondément dans le système respiratoire et irritent les poumons, causant la congestion de la gorge et des bronches, ainsi que de l'oedème pulmonaire. Parmi les symptômes d'exposition, on note des faiblesses, des nausées, des douleurs abdominales, la toux, des expectorations mucoïdes spumeuses, un pouls accéléré, une cyanose grave et des convulsions. L'exposition prolongée peut causer la mort par asphyxie. Les symptômes immédiats peuvent disparaître si le sujet respire de l'air frais; cependant, les symptômes décrits précédemment peuvent s'ensuivre dans les 6 à 24 heures. Dans les cas fatals, le décès survient 8 à 48 heures après l'exposition. La TLV® du NO_2 est de 3 ppm (8 h - MPT) et de 5 ppm (STEL) (TLV, 1983). Aucune TLV® n'a été établie pour le tétroxyde d'azote.

8 COMPATIBILITÉ CHIMIQUE

8.1 Compatibilité entre l'acide nitrique et divers agents

Agent	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition brutale	Formation de vapeurs toxiques d'une plus grande toxicité	Formation de substances dans les récipients fermés	Augmentation de la pression	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
En général														
Feu						•	•						Incombustible. Lors de la décomposition, possibilité de dégagement d'oxydes d'azote très toxiques	SAX, 1979
Chaleur						•	•						Incombustible. S'il atteint la température de décomposition, peut dégager des oxydes d'azote très toxiques	SAX, 1979 NFPA, 1978
Eau de mer (acides fumants)	•							•					Fort dégagement d'oxydes d'azote	CPIA, 1970
Eau ou vapeur	•			•			•						Dégagement de vapeurs toxiques, corrosives et inflammables	SAX, 1979; Bretherick, 1979
Corps														
Acide acétique			•										Si chauffé	NFPA, 1978

Agent	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
Anhydride acétique		•											Lorsque mélangé à de l'acide nitrique fumant titrant 50 à 85 %, mélange explosif et vulnérable aux chocs. Tout mélange d'acide nitrique et d'anhydride acétique présente des dangers, moins importants cependant	Bretherick, 1979
Acétone	•												Prend feu au contact d'HNO_3 fumant	Bretherick, 1979
Acétone + acide acétique		•											Risque d'explosion en certaines circonstances	Bretherick, 1979
Acétone + acide sulfurique		•											*Idem*	Bretherick, 1979
Acétonitrile		•											Hautement explosif	NFPA, 1978
Acétylène		•						•					Formation de trinitro-méthane	NFPA, 1978
Acroléine								•						NFPA, 1978
Acrylonitrile		•						•		•				Bretherick, 1979; NFPA, 1978

Agent	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition brutale	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
Alcool allylique	•							•					Avec acide nitrique titrant 70 %	NFPA, 1978
Chlorure d'allyle	•							•					*Idem*	NFPA, 1978
Ammoniac		•											S'enflamme au contact de vapeurs d'acide nitrique	Bretherick, 1979
Hydroxyde d'ammonium (ammoniaque)	•							•					Acide nitrique à 70 % et ammoniaque à 28 %	NFPA, 1978
Aniline		•											S'enflamme spontanément en présence d'acide nitrique fumant	NFPA, 1978
Nitrate d'anilinium									•				Mélange pouvant être très explosif	Bretherick, 1979
Antimoine										•			Si l'antimoine est à l'état pulvérulent	NFPA, 1978
Argent et alcool éthylique			•										Les trois composés réunis formeront probablement un mélange détonant	NFPA, 1978
Butènyne-3-yl-argent			•											Bretherick, 1979
Arsine			•										Explosion	NFPA, 1978

Agent	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition brutale	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
Tribromure d'arsine-bore											•		Oxydation énergique par l'acide nitrique	Bretherick, 1979
Tétraméthyl-1,4-bis (méthoxyméthyl) - 2,3,5,6 benzène			•					•						Bretherick, 1979
Bismuth												•	Peut chauffer au rouge	NFPA, 1978
Bois		•											Avec acide concentré	Bretherick, 1979
Bore										•			Devient incandescent	NFPA, 1978
Décahydrure de bore			•											NFPA, 1978
Phosphure de bore											•			NFPA, 1978
Pentafluorure de brome											•			NFPA, 1978
Butanéthiol												•	S'enflamme au contact d'HNO_3 à 96 %	Bretherick, 1979
n-Butyraldéhyde	•							•					Avec acide nitrique à 70 %	NFPA, 1978
Hypophosphite de calcium		•											S'enflamme au contact d'acide nitrique	NFPA, 1978
Caoutchouc au plomb		•											Peut s'enflammer	Bretherick, 1979

Agent	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition brutale	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
Carbone										•			Si à l'état pulvérulent	NFPA, 1978
Cellulose		•											Au contact de vapeurs de HNO_3, peut être converti en un nitrate-ester très inflammable	Bretherick, 1979
Carbure de césium			•										Le mélange explosera	NFPA, 1978
Furfuryl-cétones		•											S'enflamment au contact	Bretherick, 1979
Trifluorure de chlore										•			Avec les sels de potassium et autres éléments présents	NFPA, 1978
Chlorobenzène			•										Au-dessus de 80 °C	Bretherick, 1979
Acide chlorosulfonique	•							•					Avec acide nitrique titrant 70 %	NFPA, 1978
Nitrure de cuivre (I)										•			Avec acide nitrique concentré	Bretherick, 1979
Nitrure cuivrique (II)			•							•			Violente explosion	NFPA, 1978
Crésol	•						•						Avec acide nitrique titrant 70 %	NFPA, 1978
Crotonaldéhyde		•											S'enflamme	Bretherick, 1979

Agent	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition brutale	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
Cumène	•							•					Avec acide nitrique titrant 70 %	NFPA, 1978
Cyclohexanol			•										Formation d'une matière très explosive	NFPA, 1978
Cyclohexanone										•				NFPA, 1978
Cyclohexylamine											•			Bretherick, 1979
Cyclopentadiène			•											Bretherick, 1979
Diborane		•											Auto-inflammable	NFPA, 1978
Dichloro-1,2 éthane			•										Mélanges facilement détonants sous l'effet de la chaleur, d'un choc ou de frottement	Bretherick, 1979
Dichlorométhane			•										Formation d'une solution détonante	Bretherick, 1979
Siliciure de dimagnésium										•			Au contact	Bretherick, 1979
Diméthyléther			•										Risque de mélanges explosifs	Bretherick, 1979
Diméthylhydrazine dissymétrique			•										S'enflamme spontanément	NFPA, 1978

Agent	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition brutale	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
Sulfure de diméthyle + *p*-dioxane			•										Explosion en cas de mélange des trois	Bretherick, 1979
Diphénylstilbène		•	•										S'enflamme au contact de l'air, s'oxyde et devient explosif en présence de HNO_3	Bretherick, 1979
Diphénylmercure										•			À presque n'importe quelle température	Bretherick, 1979
Étain-diphényle		•											Au contact	Bretherick, 1979
Éthanol (alcool éthylique)			•						•				Violente réaction qui peut s'accélérer et devenir explosive	NFPA, 1978
Amino-2-éthanol	•						•							NFPA, 1978
Éther diéthylique			•										En présence de *o*-bromotoluène et d'eau ou d'acide sulfurique	Bretherick, 1979
Éther di-isopropylique	•							•					Avec acide nitrique titrant 70 %	NFPA, 1978
Éther divinylique		•											S'enflamme rapidement	Bretherick, 1979
Épichlorhydrine	•							•					Avec de l'acide nitrique titrant 70 %	NFPA, 1978

Agent	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition brutale	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
m-Éthylaniline		•											S'enflamme spontanément	NFPA, 1978
Éthylène diamine	•							•					Avec acide nitrique titrant 70 %	NFPA, 1978
Éthylène-imine	•							•					Avec acide nitrique titrant 70 %	NFPA, 1978
Éthyl-5 picoline-2										•			Production d'un composé explosif	NFPA, 1978
Éthylphosphine			•										En présence de brome ou de chlore	NFPA, 1978
Oxyde de fer (II)		•											Incandescence	NFPA, 1978
Oxyde ferreux											•		Devient incandescent si chauffé avec de l'acide nitrique	NFPA, 1978
Diméthylaminométhyl-ferrocène										•			Réaction presque explosive	Bretherick, 1979
Fluorine		•	•			•							Se décompose en dégageant des flammes et peut exploser	NFPA, 1978
Alcool (furfurylique, furfurique)		•											S'enflamme immédiatement	NFPA, 1978
Monoéthérat de gallium-triéthyle		•											S'enflamme spontanément	Bretherick, 1979

Agent	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
Germanium											•		Si à l'état pulvérulent	NFPA, 1978
Glycérol et acide fluorhydrique								•					Réaction en cas de mélange avec de l'acide nitrique	Bretherick, 1979
Glyoxal	•							•					Avec acide nitrique titrant 70 %	NFPA, 1978
Graisse animale et acide sulfurique		•											Un mélange de graisse animale et de deux acides est explosif	Bretherick, 1979
Disiliciure d'hexalithium		•											Au contact	Bretherick, 1979
2,2,4,4,6,6-Hexaméthyl-trithiane		•									•		Réaction explosive violente	Bretherick, 1979
Hexénol		•											Explose si chauffé	Bretherick, 1979
Hydrazine			•										S'enflamme spontanément	NFPA, 1978; Bretherick, 1979
Diméthyl-1,1 hydrazine		•	•										S'enflamme ou explose au contact	Bretherick, 1979
Acide hydrazoïque (azothydrique)											•		Violente réaction	NFPA, 1978
Iodure d'hydrogène		•											Une flamme rouge est produite au contact	NFPA, 1978; Bretherick, 1979

Agent	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition brutale	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
Peroxyde d'hydrogène + cétones			•										Ces deux substances mélangées à de l'acide nitrique explosent	Bretherick, 1979
Séléniure d'hydrogène		•											Devient incandescent lorsqu'il s'enflamme	NFPA, 1978; Bretherick, 1979
Sulfure d'hydrogène		•											Incandescence	NFPA, 1978; Bretherick, 1979
Tellurure d'hydrogène		•	•										S'enflamme et parfois explose	NFPA, 1978
Indane et acide sulfurique			•										Explosent si mélangés à de l'acide nitrique	NFPA, 1978
Isoprène	•							•					Avec acide nitrique titrant 70 %	NFPA, 1978
Acide lactique et acide fluorhydrique			•										Forment un mélange instable avec l'acide nitrique	Bretherick, 1979
Lithium		•	•								•		Brûle. Réaction violente ou explosive	NFPA, 1978
Siliciure de lithium			•			•							Production de peroxyde d'azote et de silice	NFPA, 1978
Magnésium			•										Si celui-ci est finement divisé	NFPA, 1978

Agent	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition brutale	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
Phosphure de magnésium												•	S'oxyde et devient incandescent	NFPA, 1978
Manganèse		•	•										Si le manganèse est à l'état pulvérulent, la réaction peut s'emballer et produire une faible explosion	NFPA, 1978
Matières organiques		•	•										S'enflamment spontanément	NFPA, 1978
Mésitylène	•		•										Formation d'un composé explosif	NFPA, 1978
Oxyde de mésityle	•							•						NFPA, 1978
Méthyl-4 cyclohexanone			•							•				NFPA, 1978; Bretherick, 1979
Méthylthiophène		•	•											Bretherick, 1979
Phosphure de néodyme										•				NFPA, 1978
Chloro-4 nitro-2 aniline					•	•							Au-dessus de 30 °C, le produit se décompose avec dégagement de fumées nitreuses et formation d'un explosif solide très sensible aux chocs	Bretherick, 1979

Agent	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition brutale	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
Nitrobenzène			•										Très explosif	NFPA, 1978; Bretherick, 1979
Nitrométhane			•										Extrêmement explosif	Bretherick, 1979
Oléum	•							•					Avec acide nitrique titrant 70 %	NFPA, 1978
Diamino-1,2 éthane bis-triméthyl or														Bretherick, 1979
3,6-dihydro-1,2,2 H-oxazine			•										La réaction forme un produit explosif	Bretherick, 1979
Di-*t*-butyl-2,6 phénol			•										Formation d'un composé explosif	NFPA, 1978
Phénylortho-phosphate disodique			•										Peut former des dérivés de l'acide picrite explosifs	Bretherick, 1979
Phosphine		•	•							•			La phosphine se décompose; la réaction est violente. Risque d'explosion	NFPA, 1978; Bretherick, 1979
2-alkoxy dithio-1,3 phospholane-2		•											S'enflamme au contact	Bretherick, 1979
Iodure de phosphonium		•											S'enflamme spontanément	NFPA, 1978
Phosphore		•											S'enflamme	NFPA, 1978
Trichlorure de phosphore			•										Au contact	NFPA, 1978

Agent	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition brutale	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
Acide phtalique	•												Réaction exothermique s'il est mélangé à de l'acide nitrique fumant et de l'acide sulfurique, pouvant entraîner la formation d'un composé explosif	NFPA, 1978
Anhydride phtalique	•												*Idem*	NFPA, 1978
Polydibromosilane		•												Bretherick, 1979
Polysilylène			•											Bretherick, 1979
Hypophosphite de potassium			•										Explose si évaporé avec de l'acide nitrique	NFPA, 1978
Formamide-2 phényl-1 propanediol-1,3			•										Le mélange peut détoner	Bretherick, 1979
B-propiolactone	•						•						Avec acide nitrique titrant 70 %	NFPA, 1978
Oxyde de propylène	•						•						*Idem*	NFPA, 1978
Pyrocatéchol		•											S'enflamme au contact	Bretherick, 1979
Pyridine	•						•						Avec acide nitrique titrant 70 %	NFPA, 1978

Agent	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition brutale	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
Éthyl-5 méthyl-2 pyridine			•					•					Production d'un composé explosif	NFPA, 1978
Carbure de rubidium			•										Risque d'explosion	NFPA, 1978
Sélénium											•		En présence de matières organiques	NFPA, 1978
Iodophosphure de sélénium			•											NFPA, 1978
Sodium													S'enflamme spontanément avec l'acide nitrique concentré	NFPA, 1978
Acide de sodium											•		Réaction violente	NFPA, 1978
Hydroxyde de sodium	•							•					Avec acide titrant 70 %	NFPA, 1978
Stibine			•								•		Explose avec l'acide nitrique concentré	NFPA, 1978
Acide sulfanique											•		Dégagement d'acide nitreux	NFPA, 1978
Anhydride sulfureux (bioxyde de soufre)			•										Dans certaines conditions	Bretherick, 1979
Acide sulfurique et matières organiques											•		Risque d'explosion	Bretherick, 1979
Acide sulfurique et glycérides											•		Risque d'explosion si les trois sont mélangés	NFPA, 1978

Agent	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition brutale	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
Décahydrure de tétrabore			•											NFPA, 1978
Thérébentine		•											S'enflamme si l'on ajoute un catalyseur	Bretherick, 1979
Triiodure de tétraphosphore		•								•			Brûle et réagit violemment	NFPA, 1978
Thiophène										•			Intense oxydation	Bretherick, 1979
Titane			•										Le résidu résultant de la réaction avec l'acide nitrique fumant rouge peut exploser	NFPA, 1978
Toluène			•							•			Explose surtout s'il y a présence d'acide sulfurique	NFPA, 1978
Toluidine		•											S'enflamme avec l'acide nitrique fumant rouge	NFPA, 1978
Triazine			•										Explosion violente avec acide titrant 99 %, à 36 °C	NFPA, 1978
Diphosphure de tricadmium			•										Au contact	Bretherick, 1979
Diphosphure de trimagnésium											•		Le produit s'oxyde et devient incandescent	Bretherick, 1979

Agent	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
Triméthyl-2,4,6 trioxanne											•		Si mélangé rapidement	Bretherick, 1979
Uranium		•									•			NFPA, 1978
Alliage uranium-néodyme		•									•			NFPA, 1978
Alliage uranium-néodyme-zirconium		•									•			NFPA, 1978
Disulfure d'uranium											•			Bretherick, 1979
Acétate de vinyle	•							•					Avec acide nitrique 36 %	NFPA, 1978
Chlorure de vinylidène	•							•					Avec acide nitrique titrant 70 %	NFPA, 1978
Zinc												•	Si le zinc est à l'état fondu, il deviendra incandescent avec de l'acide nitrique concentré	NFPA, 1978
Alliages zirconium-uranium		•											Légère explosion au contact	NFPA, 1978
Groupes de corps														
Acétylures		•									•		Au contact	Bretherick, 1979
Alcools		•									•		Les mélanges sont instables, probablement explosifs et facilement détonants	Bretherick, 1979

Agent	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition brutale	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
Aldéhydes	•												Oxydation et libération de gaz	EPA 600/2-80-076
Amines	•					•							Oxydation et formation d'oxydes d'azote toxiques	EPA 600/2-80-076
Amines aliphatiques		•											Inflammation spontanée ou survenant en quelques minutes	Bretherick, 1979
Amines aromatiques			•										Plusieurs s'enflamment avec l'acide nitrique fumant rouge	Bretherick, 1979
Alcalis et métaux alcalino-ferreux		•	•	•						•			Peut produire de l'hydrogène gazeux inflammable. La réaction, assez violente, peut causer un incendie ou une explosion	EPA 600/2-80-076
Alkylmercaptans	•	•											Risque de réaction exothermique	Bretherick, 1979
Amides	•					•							Oxydation et formation d'oxydes d'azote toxiques	EPA 600/2-80-076
Azoïques, composés	•	•	•		•	•							Oxydation avec formation d'oxydes d'azote toxiques, les mélanges instables risquent d'exploser	EPA 600/2-80-076

Agent	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
Carbamates	•					•							Hydrolyse. La réaction est exothermique et peut produire des oxydes d'azote toxiques	EPA 600/2-80-076
Caustiques, substances	•									•				EPA 600/2-80-076
Cétones	•	•											La décomposition complète dégage beaucoup de chaleur et produit des gaz qui causeront un incendie	EPA 600/2-80-076
Combustibles, matériaux	•	•			•	•								EPA 600/2-80-076
Cyanures			•			•							Libération possible de cyanure d'hydrogène inflammable	EPA 600/2-80-076
Dithiocarbamates	•	•		•		•							Dégagement possible de disulfure de carbone inflammable	EPA 600/2-80-076
Eau et mélanges aqueux	•													EPA 600/2-80-076
Esters	•					•							Les plus inflammables peuvent prendre feu	EPA-600/2-80-076
Éthers	•	•											Clivage exothermique possible catalysé par l'acide	EPA 600/2-80-076
Explosifs	•		•											EPA 600/2-80-076

Agent	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition brutale	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
Fluorures	•					•							Risque de dégagement de fluorure d'hydrogène	EPA 600/2-80-076
Halogénées, substances organiques	•				•	•							La réaction peut entraîner la formation de chlorure d'hydrogène, de phosgène ou autres gaz toxiques	EPA 600/2-80-076
Hydrazines		•											S'enflamment ou explosent dans la plupart des cas	Bretherick, 1979
Hydrocarbures		•											Plusieurs s'enflamment au contact d'acide concentré	Bretherick, 1979
Hydrocarbures aliphatiques saturés	•												Oxydation libérant de la chaleur et du dioxyde de carbone	EPA 600/2-80-076
Hydrocarbures aliphatiques non saturés	•	•											S'oxydent	EPA 600/2-80-076
Hydrocarbures aromatiques	•												Le mélange peut s'enflammer	EPA 600/2-80-076
Isocyanates	•					•							Oxydation avec risque de dégagement d'oxydes d'azote toxiques	EPA 600/2-80-076

Agent	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition brutale	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
Mercaptans	•			•			•						Dégagement possible de sulfure d'hydrogène et d'anhydride sulfureux toxiques et inflammables lors de la réaction ou de l'oxydation	EPA 600/2-80-076
Métaux (la plupart, si à l'état pulvérulent)		•	•								•		Peuvent aussi devenir incandescents (p. ex. Mg, Ge, Ti, Zn, Mn)	Bretherick, 1979
Métaux, poudres vapeurs et éponges	•		•	•							•		Peuvent dégager de l'hydrogène gazeux inflammable	EPA 600/2-80-076
Métaux, salicylates de			•										Risque d'explosion en présence d'ions de métaux lourds	Bretherick, 1979
Métaux en feuilles, en barres ou en gouttes	•	•											Formation possible d'hydrogène gazeux inflammable	EPA 600/2-80-076
Nitrés, composés	•		•			•	•				•		Formation d'oxydes d'azote. Les mélanges explosifs pourraient être détonants	EPA 600/2-80-076

Agent	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
Nitrides	•		•								•		Dégagement possible d'ammoniac inflammable	EPA 600/2-80-076
Nitriles	•		•	•		•							Risque de formation d'oxydes d'azote et de cyanure d'hydrogène inflammables et toxiques	EPA 600/2-80-076
Nitro aromatiques, composés			•										Les mélanges peuvent être très explosifs	Bretherick, 1979
Non-métaux		•									•		S'enflamment et peuvent devenir incandescents (p. ex. B, Si)	Bretherick, 1979
Non-métaux, hydrures de		•	•										p. ex. Ar, P B, S	Bretherick, 1979
Organiques, acides	•												Oxydation et libération de gaz	EPA 600/2-80-076
Organiques, matières (avec acides fumants)	•	•											Peuvent s'enflammer	CPIA, 1970
Organiques, matières et autres acides		•											Combinées à de l'acide nitrique, forment des mélanges très explosifs	Bretherick, 1979

Agent	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition brutale	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
Organiques, peroxydes	•		•			•							Décomposition possible durant l'oxydation. Dans ce cas, le mélange explosera	EPA 600/2-80-076
Organo-phosphorés, composés	•					•	•						Risque de dégagement d'oxydes d'azote, d'oxydes de soufre et d'oxydes de phosphore	EPA 600/2-80-076
Phénols et crésols	•												Facilement oxydés	EPA 600/2-80-076
Halogénures de phosphore		•	•										p. ex., Cl, Br	Bretherick, 1979
Phosphorés, composés		•	•										p. ex., Ni ou Se	Bretherick, 1979
Polyènes								•						Bretherick, 1979
Polymérisables, composés	•									•			Il peut y avoir dégagement de fumées toxiques	EPA 600/2-80-076
Réducteurs		•	•											Bretherick, 1979
Réducteurs forts	•	•	•							•				EPA 600/2-80-076
Résines échangeuses d'anions			•										Dégradation de la résine par oxydation	Bretherick, 1979

Agent	Production de chaleur	Incendie	Explosion	Formation de gaz inflammables	Polymérisation brutale	Décomposition	Formation de vapeurs toxiques	Formation de substances d'une plus grande toxicité	Augmentation de la pression dans les récipients fermés	Solubilisation	Réaction violente	Réaction non dangereuse	Remarques	Source
Résines échangeuses de cations	•		•				•						Dégradation de la résine par oxydation	CE, 1980c
Soufre, halogénures de										•			Dégagement d'halogénure d'hydrogène	Bretherick, 1979
Sulfures										•			Risque de dégagement de sulfure d'hydrogène et d'anhydride sulfureux toxiques et inflammables	EPA 600/2-80-076
Terpènes		•												NFPA, 1978
Thiocyanates		•												Bretherick, 1979
Thio-aldéhydes ou thiocétones										•				Bretherick, 1979

9 MESURES D'INTERVENTION ET DE SÉCURITÉ

9.1 Mesures recommandées

Les brefs exposés qui figurent dans la présente section sont repris des ouvrages sur lesquels a porté notre enquête bibliographique. Leur formulation d'origine a été respectée afin d'éviter toute déformation de sens; ce faisant, il a été impossible d'empêcher que n'apparaissent des divergences entre les sources d'information. En fait, les divergences au sujet de mesures qui s'appliquent à des cas particuliers ne sont qu'apparentes, l'information pouvant être correcte ou non selon la situation. Le lecteur notera que la mention d'une mesure ne constitue d'aucune façon une recommandation de la part d'Environnement Canada.

9.1.1 Danger d'incendie. - L'acide nitrique est incombustible (NFPA, 1978). C'est un puissant oxydant qui peut réagir avec les matières combustibles et donc causer des incendies. Il peut également réagir avec la plupart des métaux et dégager de l'hydrogène gazeux inflammable. Les acides fumants ne sont pas combustibles, mais les fumées qu'ils dégagent alimentent la combustion. L'acide nitrique et les acides fumants sont très réactifs (CPIA, 1970; Merck, 1983).

9.1.2 Moyens d'extinction. - Refroidir les récipients au moyen de jets d'eau pulvérisée pour éviter qu'ils éclatent et absorber les oxydes d'azote libérés (GE, 1980; ERG, 1980).
Petit feu: eau, poudre sèche, dioxyde de carbone ou carbonate de sodium.
Grand feu: noyer avec de l'eau.
Retirer les récipients exposés aux flammes si cela ne présente aucun risque. En cas de conflagration, utiliser des lances sur affût télécommandées ou des lances à tourelle (ERG, 1980).

9.1.3 Évacuation. - Il ne sera ici question que des distances d'évacuation signalées dans la documentation. Ce faisant, d'importants facteurs comme la quantité de produit déversé, la teneur à laquelle l'évacuation est suggérée et les caractéristiques du milieu peuvent ne pas être définies. Aussi est-il recommandé au lecteur de comparer les chiffres qui apparaissent dans le tableau ci-dessous aux valeurs qui peuvent être obtenues en utilisant les méthodes de calcul de la zone dangereuse, à la section 5.3 du présent *Enviroguide*, lesquelles tiennent compte des facteurs susmentionnés. Les distances indiquées ci-dessous supposent des vents dominants de 10 à 19 km/h (EAG, 1978).

Dans le cas d'une explosion, la distance minimale de protection contre la volée d'éclats est de 600 m (dans toutes les directions).

Zone à évacuer en fonction de la superficie de la nappe

Superficie de la nappe	Rayon de la zone à évacuer	Superficie à évacuer, du côté sous le vent, pour une sécurité maximale
20 m^2	60 m (78 pas)	465 m de longueur sur 320 m de largeur
35 m^2	90 m (120 pas)	965 m - 465 m -
55 m^2	110 m (144 pas)	1125 m - 645 m -
75 m^2	130 m (168 pas)	1290 m - 645 m -

9.1.4 Mesures d'intervention en cas de déversement

9.1.4.1 Information générale. - Arrêter ou ralentir la fuite du produit si cela ne présente aucun danger. Éliminer toute source d'inflammation. Éviter tout contact cutané avec le produit et ne pas inhaler les vapeurs ou fumées qu'il dégage (GE, 1980). Du Cellosize, agent absorbant, peut être appliqué pour éliminer toute émanation de vapeurs ou contenir l'acide nitrique en cas de déversement (ICI, 1982).

9.1.4.2 Déversement sur le sol. - En cas de petit déversement, recouvrir la superficie polluée de bicarbonate de sodium ou d'un mélange de carbonate de sodium anhydre et de chaux éteinte. Mélanger et ajouter de l'eau si nécessaire pour former une couche boueuse. Ramasser la boue à la pelle pour élimination ultérieure et nettoyer la zone polluée avec une solution de carbonate de sodium (Na_2CO_3) (Ashland MSDS, 1977). S'il est impossible de neutraliser le produit, laisser imbiber dans du sable ou de la vermiculite puis ramasser à la pelle et déposer dans des récipients en acier en vue d'un traitement et d'une élimination ultérieurs (GE, 1980).

Lorsqu'une grande quantité d'acide nitrique a été déversée, confiner si possible la nappe en aménageant des digues pour empêcher que le produit s'étale. Neutraliser la zone polluée avec de la chaux (CaO ou Ca(OH)) ou du bicarbonate de sodium ($NaHCO_3$) (EPA 670/2-75-042). Le carbonate de calcium ($CaCO_3$) peut également être utilisé comme neutralisant (CG-D-38-76). L'application de cendres volantes ou de poudre de ciment pour absorber le liquide est aussi acceptable (EPA 670/2-75-042). D'autres agents absorbants (sable, argile, terre, etc.) peuvent également être utilisés pour absorber le produit déversé (Temple, 1978; Ashland MSDS, 1977).

En cas de déversement d'acide nitrique, il est souhaitable de neutraliser le produit. Le bicarbonate de sodium ($NaHCO_3$) semblerait le plus apte à donner rapidement de bons résultats. Comme il est classé comme matière tampon, il y a peu de risque que le pH de la zone touchée augmente trop advenant un emploi excessif de bicarbonate de sodium. On estime que pour neutraliser l'acide nitrique (c'est-à-dire obtenir un pH de 6 pour une solution titrant environ 20 p. 100), il faut 1,71 mole de bicarbonate pour chaque mole de HNO_3 (USDOT, 1976).

Il n'est pas recommandé de neutraliser de l'acide nitrique fumant avec des matières alcalines, une expérience ayant indiqué que dans ce cas, la quantité de peroxyde d'azote

libérée était d'environ 50 p. 100 supérieure à celle observée lors d'une simple dilution du produit avec de l'eau. La solution aqueuse alcaline utilisée pour l'expérience était composée de 5 p. 100 d'hydroxyde de sodium (NaOH), 5 p. 100 de bicarbonate de sodium ($NaHCO_3$), 5 p. 100 de bicarbonate de sodium (Na_2CO_3) et du calcaire ($CaCO_3$). L'eau est l'agent de décontamination le plus efficace. Le béton et l'asphalte souillés par de l'acide nitrique fumant retiennent de petites quantités d'acide dans leurs pores superficielles même après un rinçage à fond avec de l'eau. On devra donc procéder à une dépollution plus en profondeur sur de telles surfaces (CPIA, 1970).

Lorsqu'il n'y a pas suffisamment d'eau et dans les endroits non équipés d'un système de drainage, on recommande, une fois le gros de l'acide fumant enlevé, d'asperger la surface avec une solution à 5 p. 100 de bicarbonate de sodium ($NaHCO_3$) ou de carbonate de sodium (Na_2CO_3) jusqu'à ce que le bouillonnement cesse. Si l'on dispose d'un système de drainage, d'une fosse de neutralisation et d'un approvisionnement en eau adéquats, un nettoyage complet à l'eau suffit. Dans les endroits fermés, laver avec de grandes quantités d'eau et ensuite asperger toute la surface avec une solution à 5 p. 100 de bicarbonate de sodium (Na_2CO_3) (CPIA, 1970).

9.1.4.3 Déversement dans l'eau. - Dans la mesure du possible, confiner la nappe au moyen de barrières mécaniques. Neutraliser avec de la chaux ou du bicarbonate de sodium (EPA 670/2-75-042). Le carbonate de calcium ainsi que le carbonate de sodium sont également des neutralisants acceptables (CG-D-38-76).

9.1.5 Nettoyage et traitement

9.1.5.1 Information générale. - Neutraliser l'eau polluée (à pH 7) avec un mélange (50/50) de carbonate de sodium et de chaux vive, et procéder à la séparation gravitaire des matières solides. L'eau polluée peut être mêlée à l'effluent pour réduire sa teneur en nitrates (EPA 600/2-77-227).

9.1.6 Élimination du polluant. - L'acide nitrique recueilli ne doit *jamais* être rejeté directement dans un égout ou des eaux de surface. Les boues résultant de sa neutralisation soit sur les lieux du déversement ou dans une installation de traitement des déchets seront enfouies dans une décharge contrôlée. Divers procédés de neutralisation peuvent être employés tel que mentionné précédemment.

9.1.7 Appareils et vêtements de protection. - Avant d'entrer dans une zone où ni le produit déversé ni ses propriétés ne sont connus, il faut revêtir un scaphandre résistant aux agents chimiques, et porter un appareil respiratoire isolant. S'il s'avère que le produit déversé est de l'acide nitrique ou un acide nitrique fumant:

- L'équipe d'intervention doit porter des vêtements étanches, des gants, des visières pare-acide (d'au moins 20 cm) et tout autre vêtement requis pour prévenir tout risque de

contact cutané répété ou prolongé avec de l'acide nitrique liquide ou en solution (NIOSH/OSHA, 1981).

- Des lunettes anti-éclaboussures sont recommandées s'il y a risque de projection accidentelle d'acide nitrique ou de ses solutions dans les yeux (NIOSH/OSHA, 1981).
- Les gants doivent être en néoprène ou en PVC (Ashland MSDS, 1977). Il est recommandé de porter des gants recouverts de vinyle pour les acides fumants (CPIA, 1970). (Consulter le tableau des tests de résistance à la pénétration par les produits chimiques.)
- Il est recommandé de porter des bottes de caoutchouc pour la manutention d'acide nitrique (MCA, 1961). Des bottes en caoutchouc peuvent être utilisées pour les acides fumants; elles doivent cependant être lavées *immédiatement* si elles sont souillées par de l'acide fumant pour éviter toute réaction, pénétration, voire des brûlures (CPIA, 1970).
- Le PVC est recommandé pour la fabrication des vêtements de protection contre l'acide nitrique, car il offre une excellente résistance à la pénétration (EE 20).
- Un vêtement non imperméable souillé par de l'acide nitrique doit être enlevé *immédiatement* et ne pourra plus être porté tant qu'il n'a pas été nettoyé à fond et que toute trace d'acide nitrique n'a pas disparu (NIOSH/OSHA, 1981).
- On doit trouver sur les lieux de l'intervention des bains oculaires automatiques et des douches d'urgence qui soient faciles d'accès (GE, 1980).

Essais de résistance à la pénétration par les produits chimiques

Temps de protection	Titre de l'acide nitrique		
	< 30 p. 100	30 à 70 p. 100	> 70 p. 100
	Caoutchouc naturel		
> 1 h	Néoprène Nitrile Chlorure de polyvinyle (PVC)	Néoprène Chlorure de polyvinyle Polyvinyle	-
≃ 1 h	Butyle Polyéthylène Polyéthylène chloré Plastique styrène/ butadiène Viton Plastique nitrile/ butadiène	Caoutchouc naturel Nitrile Nitrile avec PVC Polyéthylène Polyuréthane Viton	Caoutchouc naturel Néoprène Nitrile Polyéthylène Polyéthylène chloré Chlorure de polyvinyle Viton
< 1 h		Alcool polyvinylique	Butyle Nitrile avec PVC Polyuréthane Alcool polyvinylique

Les appareils suivants constituent la protection minimale des voies respiratoires pour les personnes travaillant dans un endroit où l'on trouve de l'acide nitrique (NIOSH/OSHA, 1981).

Protection minimale des voies respiratoires pour une teneur en acide nitrique supérieure à 5 mg/m^3

Situation	Équipement*
Teneur en particules ou vapeurs	
Jusqu'à 250 mg/m^3	Tout respirateur (filtrant) à cartouche chimique contre l'acide nitrique, muni d'un masque couvre-visage.**
	Tout masque à gaz muni d'une cartouche au masque ou d'un boîtier (filtrant) contre l'acide nitrique et fixé sur la poitrine ou dans le dos.
	Tout respirateur (isolant) à adduction d'air muni d'un masque couvre-visage, d'une cagoule ou d'un casque.
	Tout respirateur (isolant) muni d'un masque couvre-visage.
	Respirateur (isolant) de type C pulmo-commandé ou alimenté par tout autre système à pression superatmosphérique ou à débit constant.
Plus de 250 mg/m^3*** ou accès et évacuation d'un milieu dont la teneur en impuretés est inconnue	Tout respirateur (isolant) autonome comprenant un masque couvre-visage pulmo-commandé ou alimenté par tout autre système à pression superatmosphérique.
	Respirateur (isolant) combiné comprenant un respirateur à adduction d'air de type C muni d'un masque couvre-visage pulmo-commandé à surpression ou alimenté par tout autre système à pression superatmosphérique ou à débit constant *plus* un respirateur auxiliaire autonome pulmo-commandé à surpression ou alimenté par tout système de pression superatmosphérique.
Lutte contre un incendie	Tout respirateur (isolant) autonome avec masque couvre-visage pulmo-commandé ou alimenté par tout autre système à pression superatmosphérique.
Évacuation d'urgence	Tout masque à gaz contenant des sorbants non oxydables et assurant une protection contre l'acide nitrique.
	Tout respirateur (isolant) autonome type évacuation.

* N'utiliser que l'équipement homologué par le NIOSH ou la MSHA.

** L'acide nitrique est un agent toxique et ne doit pas entrer en contact avec des matières oxydables. Certaines cartouches peuvent contenir des matières oxydables comme du charbon actif et ne doivent donc pas être utilisées en cas de déversement d'acide nitrique. Seuls les sorbants non oxydables sont permis.

*** Il peut être nécessaire d'utiliser des scaphandres avec respirateur à adduction d'air pour éviter tout contact avec la peau et assurer une protection des voies respiratoires contres les teneurs atmosphériques en acide nitrique; ce type d'équipement doit cependant être choisi, utilisé et entretenu sous la surveillance immédiate de personnel formé à cet effet. Lorsque la teneur est supérieure à 250 mg/m^3, un respirateur (isolant) autonome auxiliaire pulmo-commandé complétera l'équipement.

9.1.8 Entreposage. - L'acide nitrique doit être entreposé dans un endroit propre, frais et bien aéré, et tenu à l'écart des produits chimiques organiques, des bases fortes, des poudres métalliques, des carbures, des sulfures et de toute matière facilement oxydable. Protéger le produit contre les rayons solaires directs ainsi que contre tout dommage physique.

L'acide nitrique (ainsi que les acides fumants) est une matière corrosive et peut attaquer la peau, les métaux et de nombreuses substances organiques. Les oxydes d'azote produits par l'acide sont tous toxiques, et il est donc impératif que les lieux d'entreposage soient bien ventilés. Des matières neutralisantes et absorbantes comme le carbonate de sodium et le sable seront gardées à proximité en cas d'urgence. L'équipement électrique doit être à l'épreuve des vapeurs (GE, 1980).

9.2 Équipements, techniques et produits spécialisés d'intervention

Les articles suivants sont mentionnés dans une étude antérieure (Dillon, 1982) et ne doivent pas être considérés comme étant les seuls équipements, matériels ou systèmes préventifs spécialisés vendus dans le commerce. Des précisions sur les spécifications, la performance et la disponibilité de ces éléments figurent dans l'étude citée.

Colmatage des fuites	Plug N'Dike®
Colmatage des fuites	Trousse de réparation à base de tantale NRC
Entreposage temporaire	Système de sacs portatifs
Agents de traitement	Hazorb (sorbant)

10 CAS D'ACCIDENTS

L'information contenue dans cette section vise à aider le lecteur à comprendre les mesures prises en cas de déversement du produit. Seuls les cas qui offrent un intérêt pour le lecteur ont été retenus; en conséquence, le nombre de cas décrits ne traduit ni l'ampleur du problème, ni la fréquence des accidents.

En ce qui concerne l'acide nitrique, nous n'avons trouvé dans la documentation consultée aucune information utile. Toute nouvelle information pertinente sera incluse dans les éditions ultérieures, au fil des progrès réalisés dans le domaine des techniques d'intervention.

11 IDENTIFICATION ET DOSAGE DU POLLUANT

Les méthodes d'analyse utilisées pour l'identification et le dosage des polluants chimiques d'intérêt prioritaire sont expliquées dans les lignes qui suivent.

Les méthodes décrites et les références signalées ont été choisies en fonction d'analyses d'échantillons d'air, d'eau et de sol devant être faites dans un laboratoire de chimie doté d'un équipement standard, éloigné du lieu d'où proviennent les prélèvements. Les auteurs ont consulté les sources habituelles exposant les méthodes normalisées ou recommandées, et décrit sommairement celles qui s'appliquent à chaque produit chimique. Parmi ces sources, on compte des publications du National Institute Occupational Safety and Health des États-Unis (NIOSH), de l'Environmental Protection Agency des États-Unis (EPA), de l'American Water Works Association, de l'American Society for Testing and Materials et de l'American National Standards Institute.

Lorsque les méthodes normalisées ou recommandées ont été jugées fiables et suffisamment spécifiques pour l'analyse des échantillons provenant de matières déversées et du milieu touché et lorsquelles ne nécessitaient pas un équipement de laboratoire hautement spécialisé, nous n'avons pas cherché plus loin.

Enfin, lorsque nous avons découvert des tests simples et fiables, couramment utilisés dans l'industrie, nous les avons signalés.

La présence d'acide dans un échantillon donné peut être déterminée, quantitativement ou qualitativement, par titrage conventionnel avec la phénolphtaléine comme indicateur dans le premier cas et du papier tournesol dans le deuxième cas. Cette façon de procéder n'est pas particulière à l'acide nitrique; si l'on soupçonne la présence d'un autre acide, ce procédé doit être complété d'un essai propre à l'ion nitrate. Qualitativement, l'ion nitrate dans l'eau (ou dans le sol après extraction) peut être décelé à l'aide du test de détection pour les nitrates/nitrites (anneau ferreux), du test de la tournure de cuivre, de la réduction du nitrate en ammoniac à l'aide de métal actif ou d'alliage, ou encore du test de précipitation de l'azote. Les échantillons d'air peuvent être facilement analysés avec un tube de Dräger. En ce qui a trait aux procédés quantitatifs, il existe de nombreuses méthodes.

11.1 Dosage de l'acide nitrique dans l'air (analyse quantitative)

11.1.1 Électrode ionique spécifique (NIOSH, 1978). - Cette méthode permet de doser l'acide nitrique présent dans l'air (sous forme d'ion nitrate) à des teneurs allant de 2,6 à 10,8 mg/m^3 (1,01 à 4,19 ppm). Un volume connu d'air est aspiré à travers un mini-barboteur contenant 20 ml d'eau distillée. (On recommande de prélever un échantillon d'air de 180 litres, à raison de 1 litre par minute.)

L'échantillon est transféré dans une fiole jaugée de 25 ml et 5 ml de solution tampon sont ajoutés. (On obtient celle-ci en dissolvant 4,3 g de sulfate d'aluminium, 1,6 g d'acide borique, 3,9 g de sulfate d'argent et 2,4 g d'acide sulfamique dans de l'eau distillée et en diluant le tout à 500 ml.) Diluer à 25 ml avec de l'eau distillée et transférer dans un bécher de 50 ml contenant un agitateur magnétique. Une électrode spécifique pour l'ion nitrate et une électrode témoin sont plongées dans la solution à analyser et la lecture se fait au millivolt près. La teneur en acide nitrique est mesurée à l'aide d'une courbe d'étalonnage tracée sur du papier semi-logarithmique.

11.2 Identification de l'acide nitrique dans l'air (méthode qualitative)

L'utilisation d'un tube Dräger pour acide nitrique permet de déceler l'acide nitrique dans l'air à des teneurs allant de 1 à 50 ppm.

Un volume d'air déterminé est aspiré à travers un tube Dräger pour acide nitrique à l'aide d'un détecteur Dräger. Le changement de couleur du réactif de bleu à jaune indique la présence d'acide nitrique. Ce changement de couleur est basé sur la réaction entre l'acide nitrique et le bleu de bromophénol (Dräger, 1979).

11.3 Dosage de l'acide nitrique dans l'eau (analyse quantitative)

11.3.1 Colorimétrie (ASTM, 1979). - On peut, par cette méthode, doser l'acide nitrique dans l'eau à des teneurs variant de 1 à 50 mg/l (ppm). L'ion nitrate réagit avec la brucine dans une solution concentrée d'acide sulfurique et prend une teinte jaune. Même si la coloration ne suit pas exactement l'équation de Lambert-Beer, l'absorbance calculée en fonction de la teneur produit une courbe lisse. Il est cependant nécessaire de préparer simultanément une série d'étalons.

Un échantillon représentatif d'au moins 2 litres est recueilli dans un récipient approprié. Les oxydants ou réducteurs puissants peuvent causer des interférences. On peut déceler les premiers (p. ex. le chlore) avec une solution d'orthotoluidine ($C_6H_3(CH_3)NH_2)_2$. Pour cela, ajouter 1 ml d'échantillon à environ trois gouttes de solution d'orthotoluidine. (L'essai peut se faire sur des plaques pour analyse à la goutte.) Si le test est positif, une coloration jaune apparaîtra en moins d'une minute puis se dégradera. La couleur minimale pour la lecture est produite par une teneur en chlore variant entre 0,05 et 0,1 mg/l (Taras, 1971). La solution d'orthotoluidine est préparée en dissolvant 1,35 g de dihydrochlorure d'orthololuidine dans 500 ml d'eau distillée. Ajouter, en agitant constamment, à 350 ml d'eau distillée et 150 ml d'acide chlorhydrique concentré. La solution doit être gardée dans des flacons de verre ambré que l'on protégera des rayons directs du soleil. Elle doit être entreposée à la température de la pièce mais jamais au-dessous de 0 °C. En observant ces précautions, cette solution sera bonne pour six mois. ***Attention:*** ce produit est toxique et ne doit pas entrer en contact avec le caoutchouc. Il ne faut pas l'ingérer ni en inhaler les vapeurs.

Si l'eau à analyser contient du chlore résiduel, prélever un échantillon de 50 ml et ajouter, en agitant, 0,1 ml de solution d'arsénite par 0,05 mg de chlore, par litre. Ajouter une goutte en excès.

Si l'eau est trouble ou qu'elle a une teneur élevée en matières organiques (couleur), prélever un échantillon de 150 ml et ajouter 0,5 g de charbon actif spécialement traité et 3 ml de bouillie d'hydroxyde de sodium. Bien mélanger, laisser reposer quelques minutes et filtrer. Jeter la première partie du filtrat (I).

La solution d'arsénite est préparée en dissolvant 1,83 g d'arsénite de sodium ($NaAsO_2$) dans 1 litre d'eau. Ce produit est toxique et il faut éviter d'en ingérer. Le charbon actif est préparé en chauffant au rouge du charbon actif finement granulé (0,2 à 0,5 mm de diamètre) dans une atmosphère de dioxyde de carbone. Il est ensuite refroidi, extrait par du n-hexane et lavé avec de l'eau à 80 °C. La bouillie d'hydroxyde d'aluminium est préparée en dissolvant 124 g d'alun de potassium ou de sulfate d'aluminium ($Al_2(SO_4)_3 . K_2SO_4$ ou $Al_2(SO_4)_3$) dans 1 litre d'eau. Chauffer à 50 °C et ajouter lentement 55 ml d'ammoniaque (NH_4OH, densité relative: 0,90) tout en agitant. Laisser reposer pendant une heure et ensuite laver le précipité avec de l'eau en agitant et en laissant décanter jusqu'à ce qu'il soit exempt d'ions ammoniac, chlorure, nitrates et nitrites, ce qui peut être vérifié par de simples essais qualitatifs.

Un échantillon de 5 ml de filtrat (I) ou d'eau limpide et incolore (ne contenant aucune matière organique) ne contenant pas plus de 50 mg d'ion nitrate par litre est transféré dans un bécher sec et propre de 50 ml. Ajouter 1 ml de réactif de brucine-acide sulfanilique. Ce réactif est préparé en dissolvant 1 g de sulfate de brucine ($(C_{23}H_{26}N_2O_4)_2H_2SO_4$) et 0,1 g d'acide sulfanilique ($C_6H_7NO_3S$) dans environ 70 ml d'eau chaude. Trois millilitres d'acide chlorhydrique (densité relative: 1,19) sont ajoutés et la solution refroidie est diluée à 100 ml avec de l'eau. Ce réactif (sulfate de brucine) est toxique et on ne doit pas en ingérer.

Dans un deuxième bécher de 50 ml, ajouter 10 ml de solution d'acide sulfurique qui a été préparée en ajoutant avec soin 500 ml d'acide sulfurique (densité relative: 1,84) à 75 ml d'eau. (Il est important de garder en tout temps le flacon de réactif d'acide sulfurique bien fermé pour éviter qu'il n'absorbe de l'humidité.) L'échantillon de filtrat additionné de réactif brucine-acide sulfanilique est ajouté avec soin au bécher contenant la solution d'acide sulfurique, et le tout est soigneusement mélangé. Laisser reposer pendant 10 minutes à l'obscurité pour permettre à la couleur de se développer, puis ajouter 10 ml d'eau. Mélanger et laisser refroidir à l'obscurité pendant 20 à 30 minutes.

L'absorbance de l'échantillon est mesurée par rapport à un blanc à l'aide d'un spectrophotomètre approprié réglé à 400 nm et de cuves appariées de 1 cm; le blanc est traité comme l'échantillon sauf qu'il ne contient pas de réactif brucine-acide sulfanilique. L'acide nitrique est dosé à l'aide d'une courbe d'étalonnage fraîchement construite, établie en fonction d'une

série de solutions étalons. La solution étalon est préparée en dissolvant 1,631 g de nitrate de potassium sec (KNO_3) dans 20 ml d'eau, et l'on porte le volume à 1 litre. Le KNO_3 solide est séché à 105 °C pendant 24 heures. Un millilitre d'étalon égale 1 mg de NO_3^-. La teneur en ion nitrate est lue directement sur la courbe d'étalonnage en mg/l.

11.4 Identification de l'acide nitrique dans l'eau (analyse qualitative)

L'échantillon est prélevé tel qu'indiqué en 11.3.1. Verser 1 ml d'échantillon dans une éprouvette et ajouter goutte à goutte 3 ml d'acide sulfurique jusqu'à ce que l'échantillon soit acide. Ajouter également au goutte à goutte du perchlorate d'argent 0,5 *M* ($AgClO_4$) tout en brassant, jusqu'à ce que la précipitation soit complète. Trois millilitres d'une solution de sulfate ferreux 1 *M* ($FeSO_4$) sont ajoutés et la solution est centrifugée s'il y a formation d'un précipité. Le surnageant est décanté dans une éprouvette et refroidi sous l'eau. L'éprouvette est maintenue inclinée et de l'acide sulfurique concentré est versé lentement le long des parois. Une couche d'un pouce d'acide dans le fond de l'éprouvette suffit. Un mince anneau brun à l'interface des deux liquides indique la présence de nitrates (Welcher, 1955). La teinte brune est le résultat de la formation de l'ion nitroxoferreux ($FeNO^{++}$). L'oxyde nitrique (NO) résulte de la réduction de l'ion nitrate par l'ion ferreux (Sienko, 1976).

11.5 Dosage de l'acide nitrique dans le sol (analyse quantitative)

11.5.1 Titrimétrie (Hesse, 1972). - L'entraînement à la vapeur suivi d'un titrage permet de doser l'acide nitrique (sous forme d'ion nitrate) à différentes teneurs, selon la portion d'extrait utilisée.

Un échantillon de 5 g de sol de 2 mm (passé sur un tamis de 10 mesh) est agité pendant 60 mn avec 50 ml d'une solution de chlorure de potassium 2 *M* puis on laisse reposer. Lors de sa préparation, la solution de chlorure de potassium doit bouillir pendant 15 mn avec de l'oxyde de magnésium solide de façon à éliminer tout l'ammoniac; elle est ensuite refroidie, filtrée et diluée à 50 ml. Une portion adéquate d'un extrait de chlorure de potassium est transférée dans un ballon de distillation. On prépare une solution d'acide borique en dissolvant 20 g d'acide borique dans 900 ml d'eau chaude et en ajoutant 20 ml d'un indicateur mixte.

Pour préparer l'indicateur mixte, dissoudre 0,1 g de vert de bromocrésol et 0,07 g de rouge de méthyle dans 100 ml d'éthanol. Ajouter de l'hydroxyde de sodium (0,1 *M*) goutte à goutte jusqu'à ce que l'on obtienne une couleur pourpre rougeâtre. Le volume est porté à 1 litre. Une portion de 5 ml de solution d'acide borique est transférée dans un erlenmeyer de volume adéquat sous le condenseur fixé au ballon de distillation.

Ajouter 0,5 g d'oxyde de magnésium et 0,2 g d'alliage Devarda dans le flacon de distillation et boucher rapidement. (L'alliage Devarda est préparé en combinant du cuivre, de l'aluminium et du zinc dans un rapport massique de 50/45/5. L'alliage doit être finement broyé

Si l'eau à analyser contient du chlore résiduel, prélever un échantillon de 50 ml et ajouter, en agitant, 0,1 ml de solution d'arsénite par 0,05 mg de chlore, par litre. Ajouter une goutte en excès.

Si l'eau est trouble ou qu'elle a une teneur élevée en matières organiques (couleur), prélever un échantillon de 150 ml et ajouter 0,5 g de charbon actif spécialement traité et 3 ml de bouillie d'hydroxyde de sodium. Bien mélanger, laisser reposer quelques minutes et filtrer. Jeter la première partie du filtrat (I).

La solution d'arsénite est préparée en dissolvant 1,83 g d'arsénite de sodium ($NaAsO_2$) dans 1 litre d'eau. Ce produit est toxique et il faut éviter d'en ingérer. Le charbon actif est préparé en chauffant au rouge du charbon actif finement granulé (0,2 à 0,5 mm de diamètre) dans une atmosphère de dioxyde de carbone. Il est ensuite refroidi, extrait par du n-hexane et lavé avec de l'eau à 80 °C. La bouillie d'hydroxyde d'aluminium est préparée en dissolvant 124 g d'alun de potassium ou de sulfate d'aluminium ($Al_2(SO_4)_3 . K_2SO_4$ ou $Al_2(SO_4)_3$) dans 1 litre d'eau. Chauffer à 50 °C et ajouter lentement 55 ml d'ammoniaque (NH_4OH, densité relative: 0,90) tout en agitant. Laisser reposer pendant une heure et ensuite laver le précipité avec de l'eau en agitant et en laissant décanter jusqu'à ce qu'il soit exempt d'ions ammoniac, chlorure, nitrates et nitrites, ce qui peut être vérifié par de simples essais qualitatifs.

Un échantillon de 5 ml de filtrat (I) ou d'eau limpide et incolore (ne contenant aucune matière organique) ne contenant pas plus de 50 mg d'ion nitrate par litre est transféré dans un bécher sec et propre de 50 ml. Ajouter 1 ml de réactif de brucine-acide sulfanilique. Ce réactif est préparé en dissolvant 1 g de sulfate de brucine ($(C_{23}H_{26}N_2O_4)_2H_2SO_4$) et 0,1 g d'acide sulfanilique ($C_6H_7NO_3S$) dans environ 70 ml d'eau chaude. Trois millilitres d'acide chlorhydrique (densité relative: 1,19) sont ajoutés et la solution refroidie est diluée à 100 ml avec de l'eau. Ce réactif (sulfate de brucine) est toxique et on ne doit pas en ingérer.

Dans un deuxième bécher de 50 ml, ajouter 10 ml de solution d'acide sulfurique qui a été préparée en ajoutant avec soin 500 ml d'acide sulfurique (densité relative: 1,84) à 75 ml d'eau. (Il est important de garder en tout temps le flacon de réactif d'acide sulfurique bien fermé pour éviter qu'il n'absorbe de l'humidité.) L'échantillon de filtrat additionné de réactif brucine-acide sulfanilique est ajouté avec soin au bécher contenant la solution d'acide sulfurique, et le tout est soigneusement mélangé. Laisser reposer pendant 10 minutes à l'obscurité pour permettre à la couleur de se développer, puis ajouter 10 ml d'eau. Mélanger et laisser refroidir à l'obscurité pendant 20 à 30 minutes.

L'absorbance de l'échantillon est mesurée par rapport à un blanc à l'aide d'un spectrophotomètre approprié réglé à 400 nm et de cuves appariées de 1 cm; le blanc est traité comme l'échantillon sauf qu'il ne contient pas de réactif brucine-acide sulfanilique. L'acide nitrique est dosé à l'aide d'une courbe d'étalonnage fraîchement construite, établie en fonction d'une

série de solutions étalons. La solution étalon est préparée en dissolvant 1,631 g de nitrate de potassium sec (KNO_3) dans 20 ml d'eau, et l'on porte le volume à 1 litre. Le KNO_3 solide est séché à 105 °C pendant 24 heures. Un millilitre d'étalon égale 1 mg de NO_3^-. La teneur en ion nitrate est lue directement sur la courbe d'étalonnage en mg/l.

11.4 Identification de l'acide nitrique dans l'eau (analyse qualitative)

L'échantillon est prélevé tel qu'indiqué en 11.3.1. Verser 1 ml d'échantillon dans une éprouvette et ajouter goutte à goutte 3 ml d'acide sulfurique jusqu'à ce que l'échantillon soit acide. Ajouter également au goutte à goutte du perchlorate d'argent 0,5 *M* ($AgClO_4$) tout en brassant, jusqu'à ce que la précipitation soit complète. Trois millilitres d'une solution de sulfate ferreux 1 *M* ($FeSO_4$) sont ajoutés et la solution est centrifugée s'il y a formation d'un précipité. Le surnageant est décanté dans une éprouvette et refroidi sous l'eau. L'éprouvette est maintenue inclinée et de l'acide sulfurique concentré est versé lentement le long des parois. Une couche d'un pouce d'acide dans le fond de l'éprouvette suffit. Un mince anneau brun à l'interface des deux liquides indique la présence de nitrates (Welcher, 1955). La teinte brune est le résultat de la formation de l'ion nitroxoferreux ($FeNO^{++}$). L'oxyde nitrique (NO) résulte de la réduction de l'ion nitrate par l'ion ferreux (Sienko, 1976).

11.5 Dosage de l'acide nitrique dans le sol (analyse quantitative)

11.5.1 Titrimétrie (Hesse, 1972). - L'entraînement à la vapeur suivi d'un titrage permet de doser l'acide nitrique (sous forme d'ion nitrate) à différentes teneurs, selon la portion d'extrait utilisée.

Un échantillon de 5 g de sol de 2 mm (passé sur un tamis de 10 mesh) est agité pendant 60 mn avec 50 ml d'une solution de chlorure de potassium 2 *M* puis on laisse reposer. Lors de sa préparation, la solution de chlorure de potassium doit bouillir pendant 15 mn avec de l'oxyde de magnésium solide de façon à éliminer tout l'ammoniac; elle est ensuite refroidie, filtrée et diluée à 50 ml. Une portion adéquate d'un extrait de chlorure de potassium est transférée dans un ballon de distillation. On prépare une solution d'acide borique en dissolvant 20 g d'acide borique dans 900 ml d'eau chaude et en ajoutant 20 ml d'un indicateur mixte.

Pour préparer l'indicateur mixte, dissoudre 0,1 g de vert de bromocrésol et 0,07 g de rouge de méthyle dans 100 ml d'éthanol. Ajouter de l'hydroxyde de sodium (0,1 *M*) goutte à goutte jusqu'à ce que l'on obtienne une couleur pourpre rougeâtre. Le volume est porté à 1 litre. Une portion de 5 ml de solution d'acide borique est transférée dans un erlenmeyer de volume adéquat sous le condenseur fixé au ballon de distillation.

Ajouter 0,5 g d'oxyde de magnésium et 0,2 g d'alliage Devarda dans le flacon de distillation et boucher rapidement. (L'alliage Devarda est préparé en combinant du cuivre, de l'aluminium et du zinc dans un rapport massique de 50/45/5. L'alliage doit être finement broyé

jusqu'à une granulométrie maximale de 0,15 mm.) Le contenu est distillé à la vapeur dans la solution d'acide borique. Un volume de 30 ml de distillat est recueilli et titré avec une solution étalon d'acide chlorhydrique.

11.6 Identification de l'acide nitrique dans le sol

L'échantillon est prélevé tel qu'indiqué en 11.5. Procéder à l'analyse décrite en 11.4. La formation d'un anneau brun indique la présence de l'ion nitrate.

12 RÉFÉRENCES ET BIBLIOGRAPHIE

(reproduction intégrale de l'édition anglaise)

12.1 Références

AFRPL 1977: Wright, A.C., USAF Propellants Handbook, "Nitric/Nitrogen Tetroxide Oxidizers", Vol. II, Air Force Rocket Propulsion Laboratory, AFRPL-TR-76-76, Edwards AFB, CA, ADA036741 (February, 1977).

AMC: Astro Metallurgical Corp., Corrosion Resistance Chart for Titanium, Zirconium, Tantalum, Wooster, OH, Form No. GL-77-1R (not dated).

Armco 1981a: Armco Stainless Steel Division, Armco Nitronic 60 Stainless Steel, Product Data Bulletin No. S-56C, Baltimore, MD (July, 1981).

Armco 1981b: Armco Stainless Steel Division, Armco Nitronic Stainless Steels, Baltimore MD, Publication LSS-1481 (December, 1981).

Ashland 1977: Ashland Chemical Co., Technical Data Sheet, "Nitric Acid - Solution Specific Gravity", Columbus, OH (March, 1977).

Ashland 1980: Ashland Chemical Co., Technical Data Sheet, "Nitric Acid, 40° and 42°, Industrial Grade", Columbus, OH (September, 1980).

Ashland MSDS 1977: Ashland Chemical Company, Material Safety Data Sheet, "Nitric Acid, 42°Be", Columbus, OH (November, 1977).

Ashland TD 1980: Ashland Chemical Company, Technical Data - Nitric Acid, 40° and 42°Be, Columbus, OH (September, 1980).

ASS: Atlas Steel, Atlas Stainless Steels, Toronto, Ontario (not dated).

ASTM 1979: American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Part 31, Water, Philadelphia, PA, D992, D3370, D1192 (1979).

ASTM 1980: American Society for Testing and Materials, Compilation of Odor and Taste Threshold Values Data, Philadelphia, PA, ASTM Data Series DS-48A (1980).

Bailar 1973: Bailar, J.C., H.J. Emeleus, R. Nyholm, and A.F. Trotman-Dickenson, (eds.), Comprehensive Inorganic Chemistry, Permagon Press, New York, NY (1973).

Beamish 1976: Beamish, R.J., "Effects of Precipitation on Canadian Lakes", Proceeding of the First International Symposium on Acid Precipitation and the Forest Ecosystem, May 12-15, 1975, Columbus, OH, edited by L.S. Dochinger and T.A. Seliga, U.S. Forest Service General Technical Report NE-23, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Upper Darby, PA, pp. 479-498 (1976).

Bell 1959: Bell, R.P., The Proton in Chemistry, Cornell University Press, Ithaca, NY (1959).

Bretherick 1979: Bretherick, L., Handbook of Reactive Chemical Hazards, second edition, Butterworths, London, England (1979).

Brezonick 1969: Brezonick, P., "Nitrogen Fixation in Some Anoxic Lacustrine Environments, Science, 164, pp. 1277-1279 (1969).

* CBG 1980: Southam Business Publications Ltd., "1981 Chemical Buyers' Guide", Canadian Chemical Processing, Don Mills, Ontario, 64, No. 9 (December, 1980).

CCD 1977: Hawley, G.G., The Condensed Chemical Dictionary, ninth edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1977).

CDS 1967: National Association of Corrosion Engineers, Corrosion Data Survey, Houston, TX (1967).

CE 1980a: Gallagher, R., "Beat Corrosion with Rubber Hose", Chemical Engineering, pp. 105-118 (September 8, 1980).

CE 1980b: Kirby, G.N., "How to Select Materials", Chemical Engineering, pp. 87-131 (November 3, 1980).

CE 1980c: Caluron, C., "Explosion Hazards of Using Nitric Acid in Ion-Exchange Equipment", Chemical Engineering, pp. 271-274 (November 17, 1980).

CE 1983a: Crook, P. and A. Asphahani, "Alloys to Protect Against Corrosion and Wear", Chemical Engineering, pp. 127-132 (January 10, 1983).

CE 1983b: Shuker, F.S., "When to Use Refractory Metals and Alloys in the Plant", Chemical Engineering, pp. 81-84 (May 2, 1983).

CG-D-38-76: Bauer, W.H. et al., Agents, Methods and Devices for Amelioration of Discharge of Hazardous Chemicals on Water, Rensselaer Polytechnic Institute for the U.S. Coast Guard, Washington, DC, CG-D-38-76 (August, 1975).

CHRIS 1974: U.S. Department of Transportation, CHRIS Hazard Assessment Handbook, U.S. Coast Guard, Washington, DC, CG-446-3 (April, 1974).

CHRIS 1978: U.S. Department of Transportation, Coast Guard, Chemical Hazards Response Information System (CHRIS), Washington, DC (1978).

Cotton 1972: Cotton, F.A. and G. Wilkinson, Advanced Inorganic Chemistry, 3rd edition, Interscience Publishers, New York, NY (1972).

Corpus 1984: Corpus Information Services Ltd., "Nitric Acid", Chemical Product Profiles, Don Mills, Ontario (15 January, 1984).

CPIA 1970: Chemical Propulsion Information Agency, Chemical Rocket/Propellant Hazards, Liquid Propellant Handling, Storage and Transportation, Volume III, CPIA Publication No. 194 (AD 870259), The John Hopkins University, Silver Springs, MD (May, 1980).

CRC 1980: Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60th edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, OH (1980).

* Publié également en français.

CRC 1982: Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 63rd edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, OH (1982).

DCRG 1978: Dow Chemical Company, Dow Chemical Resistance Guide for Dow Plastic Lined Piping Products, Midland, MI (1978).

Dillon 1982: M.M. Dillon, Survey of Countermeasures Systems for Hazardous Material Spills, Environment Canada, Ottawa, Canada (1982).

Doc. TLV 1981: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Documentation of Threshold Limit Values, fourth edition, Cincinnati, OH (1981).

DPPED 1967: DOM-X, DOM-X Plastic Pipe Engineering Data, Toronto, Ontario (1967).

Drager 1979: Leichnitz, K. (ed.), "Air Investigations and Technical Gas Analysis with Drager Tubes", Detector Tube Handbook, fourth edition, Lubeck, Germany, p. 114 (1979).

Drinking Water Standards 1973: Drinking Water Standards (Draft), The EPA Advisory Committee, Washington, DC (September 20, 1973).

Du Pont MSDS 1980: Du Pont Canada Inc., Material Safety Data Sheet, "Nitric Acid, 40°Be", Montreal, Quebec (June, 1980).

Durco 1979: Duriron Co., Inc., Duriron, Durichlor 51, Superchlor, Bulletin A/2g, Dayton, OH (October, 1979).

EAG 1978: U.S. Department of Transportation, Emergency Action Guide for Selected Hazardous Materials, Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, DC (1978).

EE-20: Buchan, Lawton, Parent Ltd., A Survey of Self-Contained Breathing Apparatus and Totally-Encapsulated Chemical Protection Suits, unedited version (not dated).

EIFAC 1969: European Inland Fisheries Advisory Committee (EIFAC), "Water Quality Criteria for European Freshwater Fish, Report on Extreme pH Values and Inland Fisheries", Water Res., 3, pp. 593-611 (1969).

Ellis 1937: Ellis, M.M., "Detection and Measurement of Stream Pollution", Biology of Water Pollution, U.S. Department of Interior (FWPCA), 129, p. 185 (1937).

EPA 600/2-77-227: Huibregtse, K.R., et al., Manual for the Control of Hazardous Material Spills - Volume One - Spill Assessment and Water Treatment Techniques, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, OH, EPA 600/2-77-227 (November, 1977).

EPA 600/2-80-076: Hatayama, H.K., J.J. Chen, E.R. deVera, R.D. Stephens, and D.L. Storm, A Method for Determining the Compatibility of Hazardous Wastes, Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH (April, 1980).

EPA 670/2-75-042: Pilie, R.J. et al., Methods to Treat, Control and Monitor Spilled Hazardous Materials, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, OH, EPA 670/2-75-042 (June, 1975).

ERG 1980: U.S. Department of Transportation, Hazardous Materials, 1980 Emergency Response Guidebook, Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, DC (1980).

FKC 1975: Lowenheim, F.A. and M.K. Moran, Faith, Keye's and Clark's Industrial Chemicals, Wiley-Interscience, New York, NY (1975).

GAC: Gale Alloy Corp., Stainless Steel Fittings and Flanges, Amityville, NY, Catalog No. 1280 (not dated).

Gardiner 1976: Gardiner, T.H. and L.S. Schauber, "Effect of Oxygen Toxicity and Nitric Acid - Induced Lung Damage on Drug Absorption from the Rat Lung", Res. Comm., Chem. Paths Pharm., 15, pp. 107-120 (1976).

GE 1980: General Electric Company, Material Safety Data Sheets, Material Safety Information Services, Schenectady, NY (August, 1980).

GF: GF Plastic Systems Inc., GF Plastic Systems, Santa Ana, CA (not dated).

Giddings 1976: Giddings, J. and J.N. Galloway, "The Effects of Acid Precipitation on Aquatic and Terrestrial Ecosystems", Literature Reviews on Acid Precipitation, EEP-2, Cornell University, Ithaca, NY (1976).

Gorham 1963: Gorham, E. and A.G. Gordon, "Some Effects of Smelter Pollution Upon Aquatic Vegetation Near Sudbury, Ontario", Can. J. Bot., 41, pp. 371-378 (1963).

GPP: Uniroyal, Inc., Guide to Polymer Properties, Mishawaka, IN (not dated).

Grahn 1974: Grahn, O., H. Hultberg and L. Landner, "Oligotrophication, a Self-Accelerating Process in Lakes Subjected to Excessive Supply of Acid Substances", Ambio, 3, pp. 93-94 (1974).

Gray 1952: Gray, E., J.K. MacNarmee, and S.B. Goldberg, "Toxicity of NO_2 Vapours at Very Low Levels", Arch. Indus. Hyg., 6, pp. 20-27 (1952).

Guidelines/Canadian/Water 1978: Federal-Provincial Working Group on Drinking Water of the Federal-Provincial Advisory Committee on Environmental and Occupational Health, Guidelines for Canadian Drinking Water Quality 1978, Ministry of National Health and Welfare, Ottawa, Canada (1978).

Hendry 1976: Hendry, G.R., K. Boalsrud, T.S. Traaen, M. Laake, and G. Raddum, "Acid Precipitation: Some Hydrobiological Changes", Ambio, 5, pp. 224-227 (1976).

Hesse 1972: Hesse, P.R., A Textbook of Soil Chemical Analysis, Chemical Publishing Co. Inc., New York, NY, pp. 200-202 (1972).

HIS 1969: Hydraulic Institute, Hydraulic Institute Standards, 12th edition, New York, NY (1969).

ICI 1982: Imperial Chemical Industries (ICI), Treatment of Organic Compounds, Appendix 7, Cheshire, England (April, 1982).

ITII 1981: International Technical Information Institute, Toxic and Hazardous Industrial Chemicals Safety Manual for Handling and Disposal with Toxicity and Hazard Data, Japan (1981).

JANAF 1971: Stull, D.R. and H. Prophet, JANAF Thermochemical Tables, second edition, Office of Standard Reference Data, U.S. National Bureau of Standards, Washington, DC (June, 1971).

Jolly 1964: Jolly, W.L., The Inorganic Chemistry of Nitrogen, W.A. Benjamin Inc., New York (1964).

Jones 1969: Jones, J.R.E., Fish and River Pollution, Butterworths, London, pp. 107-117 (1969).

JSSV 1979: Jenkins Brothers, Jenkins Corrosion Resistant Stainless Steel Valves, New York, NY (1979).

Kirk-Othmer 1981: Grayson, M. and D. Eckroth, (eds.), Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, third edition, Vol. 15, John Wiley & Sons Inc., New York, NY (1981).

Lange's Handbook 1979: Dean, J.A. (ed.), Lange's Handbook of Chemistry, 12th edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, NY (1979).

* Lefèvre 1980: Lefèvre, M.J. and E.C. Becker, First Aid Manual for Chemical Accidents - For Use with Nonpharmaceutical Chemicals, Dowden, Hutchinson, and Ross, Inc., Stroudsburg, PA (1980).

Likens 1976: Likens, G.S., "Acid Precipitation", Chem. Eng. News, 54, No. 48, pp. 29-44 (1976).

Linke 1958: Linke, W.F., Solubilities Inorganic and Metal-Organic Compounds, Vol. 1, 4th edition, American Chemical Society, Washington, DC (1958).

Little 1983: Schowpe, A.D., P.P. Costas, J.O. Jackson, and D.J. Weitzman, Guidelines for the Selection of Chemical Protective Clothing, Arthur D. Little Inc., for U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC (1983).

MCA 1961: Manufacturing Chemists Association, Chemical Safety Data Sheet, "Nitric Acid", Washington, DC (1961).

MCA 1963: Manufacturing Chemists Association, "Sulphuric Acid", Washington, DC (1963).

McKay 1956: McKay, H.A.C., "The Activity Coefficient of Nitric Acid, A Partially Ionized 1:1 - Electrolyte", Trans. Faraday Soc., 52, p. 1568 (1956).

Merck 1983: Windholz, M. et al. (eds.), The Merck Index, 10th edition, Merck & Co. Inc., Rahway, NJ (1983).

Moss 1973a: Moss, B., "The Influence of Environmental Factors on the Distribution of Freshwater Algae: an Experimental Study. II. The Role of pH and the Carbon Dioxide-Bicarbonate System", J. Ecol., 61, pp. 157-177 (1973).

Moss 1973b: Moss, B., "The Influence of Environmental Factors on the Distribution of Freshwater Algae: an Experimental Study. IV. Growth of Test Species in Natural Lake Waters and Conclusion", J. Ecol., 61, pp. 193-211 (1973).

* MWPP 1978: Rehau Industries, Mechan-O-Joint Water Pressure Pipe and Fittings, Montreal, Quebec (1978).

* Publié également en français.

NFPA 1978: National Fire Protection Association, Fire Protection Guide on Hazardous Materials, Seventh Edition, Boston, MA (1978).

NIOSH 1976: National Institute for Occupational Safety and Health, Criteria for a Recommended Standard - Occupational Exposure to Nitric Acid, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Cincinnati, OH (1976).

NIOSH 1978: National Institute for Occupational Safety and Health, Manual of Analytical Methods, second edition, Vol. 4, S. 319, Cincinnati, OH (April, 1978).

NIOSH Guide 1978: U.S. Department of Health, Education and Welfare, Pocket Guide to Chemical Hazards, U.S. Department of Health, Education, and Welfare, and U.S. Department of Labor, Washington, DC (1978).

NIOSH/OSHA 1981: U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards, NIOSH Publication No. 81-123 (September, 1981).

NRC 1978: National Research Council, Scientific and Technical Assessments of Environmental Pollutants, "Nitrates: An Environmental Assessment", Academy of Sciences, Washington, DC (1978).

NRC 1981: National Research Council, The Health Effects of Nitrate, Nitrite and N-Nitroso Compounds, Washington, DC, PB82-182890 (December, 1981).

OHM-TADS 1981: Oil and Hazardous Materials Technical Assistance Data System, U.S. Environmental Protection Agency, Oil and Special Materials Control Division, Office of Water Program Operations, Washington, DC (1981).

Ontario E.P. Act 1971: Ontario Ministry of the Environment, "The Environmental Protection Act, Statutes of Ontario 1971", Chapter 86, as amended; and Regulation 15 (General) as amended (1971).

Patty 1963: Patty, A., D. Fassett, and D.D. Irish, (eds.), Industrial Hygiene and Toxicology, Vol. II, "Toxicology", second revised edition, Interscience Publishers, New York, NY (1963).

Paul 1957: Paul, M.A. and F.A. Long, "H_o and Related Indicator Acidity Functions", Chem. Rev., 57, p. 1 (1957).

PC 1982: personal communication, Cyanamid Canada Inc., Niagara Falls, Ontario (February 4, 1982).

Perry 1973: Perry, R.H. and C.H. Chilton, (eds.), Chemical Engineer's Handbook, fifth edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, NY (1973).

Portman 1970: Portman, J.E., The Toxicity of 120 Substances to Marine Organisms, Shellfish Information Leaflet, Fisheries Experimental Station, Conway, N. Wales; Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (September, 1970).

Raznjevic 1976: Raznjevic, K., Handbook of Thermodynamic Tables and Charts, Hemisphere Publishing Corp., Washington, DC (1976).

Rosenstock 1977: Rosenstock, H.M., K. Draxl, B. Steiner, and J.T. Herron, Energetics of Gaseous Ions, National Bureau of Standards, Washington, DC (1977).

Rouse 1961: Rouse, H., Fluid Mechanics for Hydraulic Engineers, Dover Publications, Inc., New York, NY (1961).

* RTDCR 1974: Canadian Transport Commission, Regulations for the Transportation of Dangerous Commodities by Rail, published by Supply and Services Canada, Ottawa, Ontario (1974).

RTECS 1979: Lewis, R.J. and R.L. Tatken, Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 1979, Vols. 1 and 2, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, OH (September, 1980).

Sackner 1976: Sackner, M.A., R.D. Dougherty, G.A. Chapman, "Effect of Inorganic Nitrate and Sulfate Salts on Cardiopulmonary Function", Am. Rev. Resp. Dis., 113, p. 89 (1976).

Sax 1968: Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, third edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1968).

Sax 1979: Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, fifth edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1979).

Sax 1981: Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials Report, Vol. 1 (March/April, 1981).

Schott: O-I Schott Process Systems, Inc., Cer-Vit Material Ball Valves, Sheet CV-8000, Vineland, NJ (not dated).

Scott 1979: Scott's Industrial Directory of Ontario Manufacturers, 12th edition, Penstock Directories Limited, Oakville, Ontario (1979).

SFC 1982: Standard Fittings Co., Alloy Stainless, Bulletin 1-100, Opelousas, LA (June, 1982).

Sienko 1961: Sienko, M.J. and R.A. Plane, Chemistry, 2nd edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, NY (1961).

Streeter 1971: Streeter, V.L., Fluid Mechanics, fifth edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, NY (1971).

Taras 1971: Taras, M.J. et al. (eds.), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 13th edition, American Public Health Association, Washington, DC (1971).

TCM 1979: General American Transportation Corporation, Tank Car Manual, Chicago, IL (May, 1979).

TDB (on-line) 1981: Toxicity Data Base, Toxicology Information On-Line, available from National Library of Medicine, Washington, DC (1981).

* TDGC 1980: Transport Canada, Transportation of Dangerous Goods Code, Vol. 1 (Lists), Vol. 2, Ottawa, Canada (June, 1980).

* Publié également en français.

Temple 1978: Temple, R.E. et al., "A New Universal Sorbent for Hazardous Spills", Proceedings of 1978 National Conference on Control of Hazardous Materials (1978).

TLV 1983: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, TLV•s Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment with Intended Changes for 1983-84, Cincinnati, OH (1983).

TPS 1978: GSR Fluid Handling, Thermoplastic Piping Systems, Sun Valley, CA (1978).

USDOT 1976: Drake, E. et al., A Feasibility Study of Response Techniques for Discharges of Hazardous Chemicals that Disperse Through the Water Column, U.S. Department of Transportation, U.S. Coast Guard, Washington, DC (July, 1976).

USEPA 1978: U.S. Environmental Protection Agency, Air Quality Criteria for Oxides of Nitrogen, Research Triangle Park, NC (November, 1978).

Vanderwerf 1961: Vanderwerf, C.A., Acids, Bases and the Chemistry of the Covalent Bond, Reinhold Publishing Corp., NY (1961).

Verschueren 1984: Verschueren, K., Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1984).

Water Management Goals 1978: Ontario Ministry of the Environment, Water Management Goals, Policies, Objectives and Implementation Procedures for the Ministry of the Environment, Toronto, Ontario (November, 1978).

Welcher 1955: Welcher, F.J. and R.B. Hahn, Semimicro Qualitative Analysis, D. Van Nostrand Co., Inc., Princeton, NJ, pp. 461-462 (1955).

WQC 1963: McKee, J.E. and H.W. Wolf, Water Quality Criteria, second edition, Resources Agency of California, State Water Quality Control Board (1963).

WQCDB-5 1973: Water Quality Criteria Data Book: Effects of Chemicals on Aquatic Life, Vol. 5, U.S. Environmental Protection Agency, Water Quality Office, Washington, DC (September, 1973).

12.2 Bibliographie

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), Documentation of Threshold Limit Values, fourth edition, Cincinnati, OH (1981).

American Conference of Governmental Industrial Hygienists, TLV•s Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents in the Workroom Environment with Intended Changes for 1983-84, Cincinnati, OH (1983).

American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Part 31, Water, Philadelphia, PA, D992, D3370, D1192 (1979).

American Society for Testing and Materials, Compilation of Odor and Taste Threshold Values Data, Philadelphia, PA, ASTM Data Series DS-48A (1980).

Armco Stainless Steel Division, Armco Nitronic 60 Stainless Steel, Product Data Bulletin No. S-56C, Baltimore, MD (July, 1981).

Armco Stainless Steel Division, Armco Nitronic Stainless Steels, Baltimore, MD, Publication LSS-1481 (December, 1981).

Ashland Chemical Co., Technical Data Sheet, "Nitric Acid - Solution Specific Gravity", Columbus, OH (March, 1977).

Ashland Chemical Company, Material Safety Data Sheet, "Nitric Acid, 42°Be", Columbus, OH (November, 1977).

Ashland Chemical Co., Technical Data Sheet, "Nitric Acid, 40° and 42°, Industrial Grade", Columbus, OH (September, 1980).

Ashland Chemical Company, Technical Data, "Nitric Acid, 40° and 42°Be", Columbus, OH (September, 1980).

Astro Metallurgical Corp., Corrosion Resistance Chart for Titanium, Zirconium, Tantalum, Wooster, OH, Form No. GL-77-1R (not dated).

Atlas Steel, Atlas Stainless Steels, Toronto, Ontario (not dated).

Bailar, J.C., H.J. Emeleus, R. Nyholm, and A.F. Trotman-Dickenson, (eds.), Comprehensive Inorganic Chemistry, Permagon Press, New York, NY (1973).

Bauer, W.H. et al., Agents, Methods and Devices for Amelioration of Discharge of Hazardous Chemicals on Water, Rensselaer Polytechnic Institute for the U.S. Coast Guard, Washington, DC, CG-D-38-76 (August, 1975).

Beamish, R.J., "Effects of Precipitation on Canadian Lakes", Proceeding of the First International Symposium on Acid Precipitation and the Forest Ecosystem, May 12-15, 1975, Columbus, OH, edited by L.S. Dochinger and T.A. Seliga, U.S. Forest Service General Technical Report NE-23, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Upper Darby, PA, pp. 479-498 (1976).

Bell, R.P., The Proton in Chemistry, Cornell University Press, Ithaca, NY (1959).

Bretherick, L., Handbook of Reactive Chemical Hazards, second edition, Butterworths, London, England (1979).

Brezonick, P., "Nitrogen Fixation in Some Anoxic Lacustrine Environments", Science, 164, pp. 1277-1279 (1969).

Buchan, Lawton, Parent Ltd., A Survey of Self-Contained Breathing Apparatus and Totally-Encapsulated Chemical Protection Suits, unedited version (not dated).

Caluron, C., "Explosion Hazards of Using Nitric Acid in Ion-Exchange Equipment", Chemical Engineering, pp. 271-274 (November 17, 1980).

* Canadian Transport Commission, Regulations for the Transportation of Dangerous Commodities by Rail, Published by Supply and Services Canada, Ottawa, Ontario (1974).

Chemical Propulsion Information Agency, Chemical Rocket/Propellant Hazards, Liquid Propellant Handling, Storage and Transportation, Volume III, CPIA Publication No. 194 (AD 870259), The John Hopkins University, Silver Springs, MD (May, 1980).

---

* Publié également en français.

Corpus Information Services Ltd., "Nitric Acid", Chemical Product Profiles, Don Mills, Ontario (15 January, 1984).

Cotton, F.A. and G. Wilkinson, Advanced Inorganic Chemistry, 3rd edition, Interscience Publishers, New York (1972).

Crook, P. and A. Asphahani, "Alloys to Protect Against Corrosion and Wear", Chemical Engineering, pp. 127-132 (January 10, 1983).

Dean, J.A. (ed.), Lange's Handbook of Chemistry, 12th edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, NY (1979).

Dillon, M.M., Survey of Countermeasures Systems for Hazardous Material Spills, Environment Canada, Ottawa, Canada (1982).

DOM-X, DOM-X Plastic Pipe Engineering Data, Toronto, Ontario (1967).

Dow Chemical Company, Dow Chemical Resistance Guide for Dow Plastic Lined Piping Products, Midland, MI (1978).

Drake, E. et al., A Feasibility Study of Response Techniques for Discharges of Hazardous Chemicals that Disperse Through the Water Column, U.S. Department of Transportation, U.S. Coast Guard, Washington, DC (July, 1976).

Drinking Water Standards (Draft), The EPA Advisory Committee, Washington, DC (September 20, 1973).

Du Pont Canada Inc., Material Safety Data Sheet, "Nitric Acid, 40°Be", Montreal, Quebec (June, 1980).

Duriron Co. Inc., Duriron, Durichlor 51, Superchlor, Bulletin A/2g, Dayton, OH (October, 1979).

Ellis, M.M., "Detection and Measurement of Stream Pollution", Biology of Water Pollution, U.S. Department of Interior (FWPCA), Vol. 129, p. 185 (1937).

European Inland Fisheries Advisory Committee (EIFAC), "Water Quality Criteria for European Freshwater Fish", Report on Extreme pH Values and Inland Fisheries, Water Res., 3, pp. 593-611 (1969).

Federal-Provincial Working Group on Drinking Water of the Federal-Provincial Advisory Committee on Environmental and Occupational Health, Guidelines for Canadian Drinking Water Quality 1978, Ministry of National Health and Welfare, Ottawa, Canada (1978).

Gale Alloy Corp., Stainless Steel Fittings and Flanges, Amityville, NY, Catalog No. 1280 (not dated).

Gallagher, R., "Beat Corrosion with Rubber Hose", Chemical Engineering, pp. 105-118 (September 8, 1980).

Gardiner, T.H. and L.S. Schauber, "Effect of Oxygen Toxicity and Nitric Acid -Induced Lung Damage on Drug Absorption from the Rat Lung", Res. Comm., Chem. Paths Pharm., 15, pp. 107-120 (1976).

General American Transportation Corporation, Tank Car Manual, Chicago, IL (May, 1979).

General Electric Company, Material Safety Data Sheets, Material Safety Information Services, Schenectady, NY (August, 1980).

GF Plastic Systems Inc., GF Plastic Systems, Santa Ana, CA (not dated).

Giddings, J. and J.N. Galloway, "The Effects of Acid Precipitation on Aquatic and Terrestrial Ecosystems", Literature Reviews on Acid Precipitation, EEP-2, Cornell University, Ithaca, NY (1976).

Gorham, E. and A.G. Gordon, "Some Effects of Smelter Pollution Upon Aquatic Vegetation Near Sudbury, Ontario", Can. J. Bot., 41, pp. 371-378 (1963).

Grahn, O., H. Hultberg, and L. Landner, "Oligotrophication, a Self-Accelerating Process in Lakes Subjected to Excessive Supply of Acid Substances", Ambio, 3, pp. 93-94 (1974).

Gray, E., J.K. MacNarmee, and S.B. Goldberg, "Toxicity of NO_2 Vapours at Very Low Levels", Arch. Indus. Hyg., 6, pp. 20-27 (1952).

Grayson, M. and D. Eckroth, (eds.), Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, third edition, Vol. 15, John Wiley & Sons Inc., New York, NY (1981).

GSR Fluid Handling, Thermoplastic Piping Systems, Sun Valley, CA (1978).

Hatayama, H.K., J.J. Chen, E.R. deVera, R.D. Stephens, and D.L. Storm, Method for Determining the Compatibility of Hazardous Wastes, Municipal Environmental Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, OH (April, 1980).

Hawley, G.G., The Condensed Chemical Dictionary, ninth edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1977).

Hendry, G.R., K. Boalsrud, T.S. Traaen, M. Laake, and G. Raddum, "Acid Precipitation: Some Hydrobiological Changes", Ambio, 5, pp. 224-227 (1976).

Hesse, P.R., A Textbook of Soil Chemical Analysis, Chemical Publishing Co. Inc., New York, NY, pp. 200-202 (1972).

Huibregtse, K.R. et al., Manual for the Control of Hazardous Material Spills - Volume One - Spill Assessment and Water Treatment Techniques, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, OH, EPA 600/2-77-227 (November, 1977).

Hydraulic Institute, Hydraulic Institute Standards, 12th edition, New York, NY (1969).

Imperial Chemical Industries (ICI), Treatment of Organic Compounds, Appendix 7, Cheshire, England (April, 1982).

International Technical Information Institute, Toxic and Hazardous Industrial Chemicals Safety Manual for Handling and Disposal with Toxicity and Hazard Data, Japan (1981).

Jenkins Brothers, Jenkins Corrosion Resistant Stainless Steel Valves, New York, NY (1979).

Jolly, W.L., The Inorganic Chemistry of Nitrogen, W.A. Benjamin Inc., New York, NY (1964).

Jones, J.R.E., Fish and River Pollution, Butterworths, London, pp. 107-117 (1969).

Kirby, G.N., "How to Select Materials", Chemical Engineering, pp. 87-131 (November 3, 1980).

Lefèvre, M.J. and E.O. Becker, First Aid Manual for Chemical Accidents - For Use with Nonpharmaceutical Chemicals, Dowden, Hutchinson, and Ross, Inc., Stroudsburg, PA (1980).

Leichnitz, K. (ed.), "Air Investigations and Technical Gas Analysis with Drager Tubes", Detector Tube Handbook, fourth edition, Lubeck, Germany, p. 114 (1979).

Lewis, R.J. and R.L. Tatken, Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, 1979, Vols. 1 and 2, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Cincinnati, OH (September, 1980).

Likens, G.S., "Acid Precipitation", Chem. Eng. News, 54, No. 48, pp. 29-44 (1976).

Linke, W.F., Solubilities Inorganic and Metal-Organic Compounds, Vol. 1, 4th edition, American Chemical Society, Washington, DC (1958).

Lowenheim, F.A. and M.K. Moran, Faith, Keye's and Clark's Industrial Chemicals, Wiley-Interscience, New York, NY (1975).

Manufacturing Chemists Association, Chemical Safety Data Sheet, "Nitric Acid", Washington, DC (1961).

Manufacturing Chemists Association, "Sulphuric Acid", Washington, DC (1963).

McKay, H.A.C., "The Activity Coefficient of Nitric Acid, A Partially Ionized 1:1 Electrolyte", Trans. Faraday Soc., 52, p. 1568 (1956).

McKee, J.E. and H.W. Wolf, Water Quality Criteria, second edition, Resources Agency of California, State Water Quality Control Board (1963).

Moss, B., "The Influence of Environmental Factors on the Distribution of Freshwater Algae: an Experimental Study. II. The Role of pH and the Carbon Dioxide-Bicarbonate System", J. Ecol., 61, pp. 157-177 (1973).

Moss, B., "The Influence of Environmental Factors on the Distribution of Freshwater Algae: an Experimental Study. IV. Growth of Test Species in Natural Lake Waters and Conclusion", J. Ecol., 61, pp. 193-211 (1973).

National Association of Corrosion Engineers, Corrosion Data Survey, Houston, TX (1967).

National Fire Protection Association, Fire Protection Guide on Hazardous Materials, Seventh Edition, Boston, MA (1978).

National Institute for Occupational Safety and Health, Criteria for a Recommended Standard - Occupational Exposure to Nitric Acid, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Cincinnati, OH (1976).

National Institute for Occupational Safety and Health, Manual of Analytical Methods, second edition, Vol. 4, S. 319, Cincinnati, OH (April, 1978).

National Research Council, Scientific and Technical Assessments of Environmental Pollutants, "Nitrates: An Environmental Assessment", Academy of Sciences, Washington, DC (1978).

National Research Council, The Health Effects of Nitrate, Nitrite and N-Nitroso Compounds, Washington, DC, PB82-182890 (December, 1981).

Oil and Hazardous Materials Technical Assistance Data System, U.S. Environmental Protection Agency, Oil and Special Materials Control Division, Office of Water Program Operations, Washington, DC (1981).

Ontario Ministry of the Environment, "The Environmental Protection Act, Statutes of Ontario 1971", Chapter 86, as amended; and Regulation 15 (General) as amended (1971).

Ontario Ministry of the Environment, Water Management Goals, Policies, Objectives and Implementation Procedures for the Ministry of the Environment, Toronto, Ontario (November, 1978).

Patty, A., D. Fassett, and D.D. Irish, (eds.), Industrial Hygiene and Toxicology, Vol. II, "Toxicology", second revised edition, Interscience Publishers, New York, NY (1963).

Paul, M.A. and F.A. Long, "H_o and Related Indicator Acidity Functions", Chem. Rev., 57, p. 1 (1957).

Perry, R.H. and C.H. Chilton, (eds.), Chemical Engineer's Handbook, fifth edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, NY (1973).

Personal communication, Cyanamid Canada Inc., Niagara Falls, Ontario (February 4, 1982).

Pilie, R.J. et al., Methods to Treat, Control and Monitor Spilled Hazardous Materials, U.S. Environmental Protection Agency, National Environmental Research Center, Cincinnati, OH, EPA 670/2-75-042 (June, 1975).

Portman, J.E., The Toxicity of 120 Substances to Marine Organisms, Shellfish Information Leaflet, Fisheries Experimental Station, Conway, N. Wales; Ministry of Agriculture, Fisheries and Food (September, 1970).

Raznjevic, K., Handbook of Thermodynamic Tables and Charts, Hemisphere Publishing Corp., Washington, DC (1976).

* Rehau, Industries Ltd. Mechan-O-Joint Water Pressure Pipe and Fittings, Montreal, Quebec (1978).

Rosenstock, H.M., K. Draxl, B. Steiner, and J.T. Herron, Energetics of Gaseous Ions, National Bureau of Standards, Washington, DC (1977).

Rouse, H., Fluid Mechanics for Hydraulic Engineers, Dover Publications, Inc., New York, NY (1961).

Sackner, M.A., R.D. Dougherty, and G.A. Chapman, "Effect of Inorganic Nitrate and Sulfate Salts on Cardiopulmonary Function", Am. Rev. Resp. Dis., 113, p. 89 (1976).

* Publié également en français.

Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, third edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1968).

Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials, fifth edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1979).

Sax, N.I., Dangerous Properties of Industrial Materials Report, Vol. 1 (March/April, 1981).

O-I Schott Process Systems Inc., Cer-Vit Material Ball Valves, Sheet CV-8000, Vineland, NJ (not dated).

Schowpe, A.D., P.P. Costas, J.O. Jackson, and D.J. Weitzman, Guidelines for the Selection of Chemical Protective Clothing, Arthur D. Little Inc., for U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC (1983).

Scott's Industrial Directory of Ontario Manufacturers, 12th edition, Penstock Directories Limited, Oakville, Ontario (1979).

Shuker, F.S., "When to Use Refractory Metals and Alloys in the Plant", Chemical Engineering, pp. 81-84 (May 2, 1983).

Sienko, M.J. and R.A. Plane, Chemistry, 2nd edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, NY (1961).

* Southam Business Publications Ltd., "1981 Chemical Buyers' Guide", Canadian Chemical Processing, Don Mills, Ontario, 64, No. 9 (December, 1980).

Standard Fittings Co., Alloy Stainless, Bulletin 1-100, Opelousas, LA (June, 1982).

Streeter, V.L., Fluid Mechanics, fifth edition, McGraw-Hill Book Company Inc., New York, NY (1971).

Stull, D.R. and H. Prophet, JANAF Thermochemical Tables, second edition, Office of Standard Reference Data, U.S. National Bureau of Standards, Washington, DC (June, 1971).

Taras, M.J. et al. (eds.), "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater", 13th edition, American Public Health Association, Washington, DC (1971).

Temple, R.E. et al., "A New Universal Sorbent for Hazardous Spills", Proceedings of 1978 National Conference on Control of Hazardous Materials (1978).

Toxicity Data Base, Toxicology Information On-Line, available from National Library of Medicine, Washington, DC (1981).

Transport Canada, Transportation of Dangerous Goods Code, Vol. 1 (Lists), Vol. 2, Ottawa, Canada (June, 1980).

Uniroyal Inc., Guide to Polymer Properties, Mishawaka, IN (not dated).

U.S. Department of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), U.S. Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (OSHA), Occupational Health Guidelines for Chemical Hazards, NIOSH Publication No. 81-123 (September, 1981).

* Publié également en français.

U.S. Department of Health, Education and Welfare, Pocket Guide to Chemical Hazards, U.S. Department of Health, Education, and Welfare, and U.S. Department of Labor, Washington, DC (1978).

U.S. Department of Transportation, CHRIS Hazard Assessment Handbook, U.S. Coast Guard, Washington, DC, CG-446-3 (April 1974).

U.S. Department of Transportation, Emergency Action Guide for Selected Hazardous Materials, Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, DC (1978).

U.S. Department of Transportation, Hazardous Materials, 1980 Emergency Response Guidebook, Research and Special Programs Administration, Materials Transportation Bureau, Washington, DC (1980).

U.S. Department of Transportation, Coast Guard, Chemical Hazards Response Information System (CHRIS), Washington, DC (1978).

U.S. Environmental Protection Agency, Air Quality Criteria for Oxides of Nitrogen, Research Triangle Park, NC (November, 1978).

Vanderwerf, C.A., Acids, Bases and the Chemistry of the Covalent Bond, Reinhold Publishing Corp., New York, NY (1961).

Verschueren, K., Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY (1984).

Water Quality Criteria Data Book: Effects of Chemicals on Aquatic Life, Vol. 5, U.S. Environmental Protection Agency, Water Quality Office, Washington, DC (September, 1973).

Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 60th edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, OH (1980).

Weast, R.C. (ed.), CRC Handbook of Chemistry and Physics, 63rd edition, Chemical Rubber Publishing Company, Cleveland, OH (1982).

Welcher, F.J. and R.B. Hahn, Semimicro Qualitative Analysis, D. Van Nostrand Co., Inc., Princeton, NJ, pp. 461-462 (1955).

Windholz, M. et al. (eds.), The Merck Index, 10th edition, Merck & Co. Inc., Rahway, NJ (1983).

Wright, A.C., USAF Propellants Handbook, "Nitric/Nitrogen Tetroxide Oxidizers", Vol. II, Air Force Rocket Propulsion Laboratory, AFRPL-TR-76-76, Edwards AFB, CA, ADA036741 (February, 1977).